This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

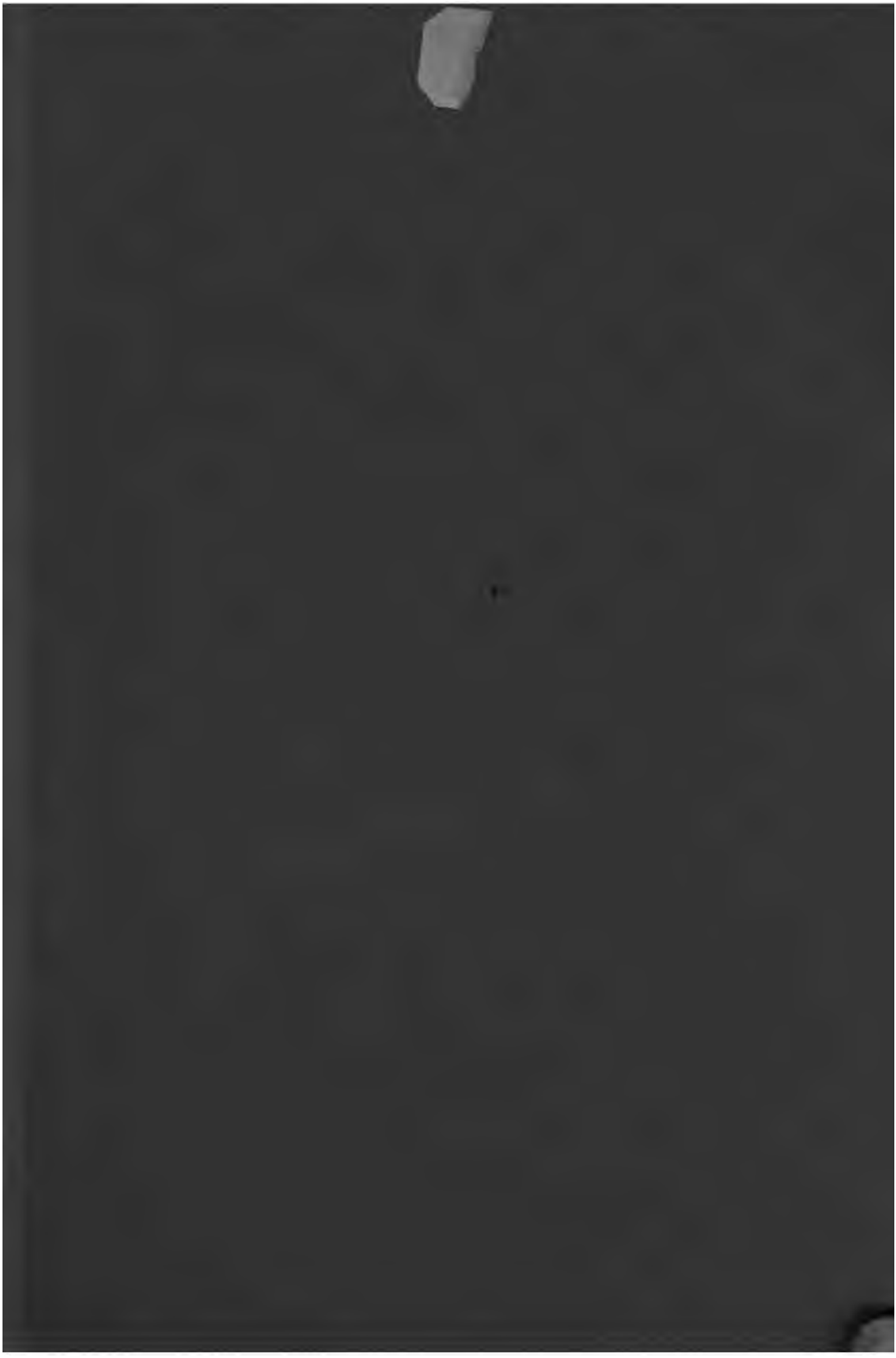
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

Library
of the
University of Wisconsin



Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechtes, vorbehalten

Copyright 1913 by R. Oldenbourg, München

Druck der Königl. Universitätsdruckerei H. Stürtz A. G., Würzburg.

6460790

177731
SEP 30 1913
STS
B32
2

Inhalt.

II. Teil.

	Seite
F. Das Anfahren	1
G. Die Landung	14
H. Die Steuerungen	27
Allgemeines	27
Das Höhensteuer	30
Das Seitensteuer	32
Die Verwindung	35
Massenverteilung	38
Der Flug in der Kurve	43
J. Das Motordrehmoment	51
K. Die Praxis des Flugs	59
L. Die Einzelteile des Flugzeugs	68
Die Tragflächen	68
Das Fahrgestell und der Rumpf	87
Konstruktionselemente	99

F. Das Anfahren.

Durch die vorausgegangenen Abschnitte sind die Verhältnisse der Maschine in der Luft klargestellt. Im Folgenden sollen die Bedingungen untersucht werden, unter denen die Maschine in die Luft gebracht werden kann.

Die Maschine wird erst fliegen können, wenn sie am Boden diejenige Geschwindigkeit erreicht hat, die für ihren Flug notwendig ist. Um diese Geschwindigkeit zu erreichen, muss sie mit Hilfe ihrer Räder am Boden rollen. Dabei ist natürlich der Fahrwiderstand der Maschine zu überwinden und ausserdem die Maschine selbst zu beschleunigen, und der in jedem Moment zur Verfügung stehende Schraubenzug muss, wenn eine Beschleunigung möglich sein soll, grösser sein als die Fahrwiderstände.

Der Fahrwiderstand setzt sich aus zwei Teilen zusammen, dem durch die Unebenheit des Bodens und die Reibung der Räder usw. bedingten Widerstand und dem Luftwiderstand, der auf die Maschine selbst wirkt. Auf die Grösse des ersteren Teils hat man durch konstruktive Massnahmen nur einen beschränkten Einfluss, er hängt zum grössten Teil von der Beschaffenheit des Bodens ab und wird um so kleiner sein, je ebener der Boden ist. Andererseits machen sich allerdings bis zu einem gewissen Grad Bodenunebenheiten um so weniger bemerkbar, je grösser die Räder sind. Auch die Grösse des Luftwiderstands liegt zum grossen Teil fest durch die Anforderungen, die man an die Maschine im Flug stellt. Jedenfalls aber wird man, um diesen Teil des Fahrwiderstandes möglichst klein zu erhalten, der Maschine beim Anfahren eine solche Lage geben,

dass der Luftwiderstand der Tragflächen so gering als möglich ist. Es wird aber dann die Tragfläche so lange nicht tragen, auch nicht teilweise. Die erstgenannten Widerstände sind nun aber auch um so grösser, je grösser das auf den Rädern ruhende Gewicht ist. Es kann deshalb bei entsprechender Bodenbeschaffenheit von einem gewissen Punkt ab vorteilhafter sein, die Tragflächen teilweise tragen zu lassen, um den Anteil der Bodenwiderstände herabzusetzen auf Kosten der Luftwiderstände.

Die Fahr- oder Bodenwiderstände setzen sich wiederum aus drei Teilen zusammen, der sogenannten rollenden Reibung der Räder am Boden, der gleitenden Reibung der Radnaben an den Achsen, bzw. der Achsen in den Achslagern und den Widerständen infolge der Geschwindigkeitsverluste, die durch starke Bodenunebenheiten bedingt sind.

Ist D der Durchmesser der Räder der Maschine in cm, d der Zapfendurchmesser der Rad- oder Achslager in cm, μ der Reibungskoeffizient der gleitenden Reibung in diesen Lagern, der natürlich verschieden sein wird, je nach der Güte der Schmierung und je nachdem Gleitlager oder Kugellager Verwendung fanden, f der Koeffizient der rollenden Reibung, der je nach Beschaffenheit der Fahrbahn verschieden sein wird, G das Gewicht der Maschine in kg, so erhält man für die beiden ersten Anteile des gesamten Bodenwiderstands

$$W_1 + W_2 = 2\,\frac{G\,f}{D} + \frac{\mu\,G\,.\,d}{D} = \frac{G}{D}\,(2\,f + \mu\,d). \qquad 1)$$

Dabei kann für f je nach Beschaffenheit des Bodens etwa gesetzt werden 2 bis 5 und für μ 0,1 bis 0,05, ferner für d etwa 2 bis 5 cm, für D 40 bis 60 cm. Rechnet man mit diesen Zahlen, so erhält man $W_1 + W_2 =$ (0,05 bis 0,175) G, wobei, wie eine Nachrechnung zeigt, der Einfluss von W_2 gegenüber W_1 fast verschwindet.

Für den dritten Anteil des Bodenwiderstandes liegt ein Zahlenmaterial kaum vor, und man ist ziemlich auf Schätzung angewiesen. Sicher ist, dass der Anteil W_3 mit der Geschwindigkeit der Maschine gegenüber dem Boden und ihrem Gewicht

zunimmt, mit dem Raddurchmesser aber abnimmt, so dass zu setzen wäre:

$$W_3 = \frac{f' \cdot v}{D} G, \qquad 2)$$

wobei $\frac{f'}{D}$ von der Häufigkeit und Grösse der für die Maschine im Weg liegenden Hindernisse abhängig ist und etwa zwischen 0 und 0,01 schwankt. Daraus ergibt sich dann für

$$W = W_1 + W_2 + W_3 = 0{,}05\,G \text{ bis } G\,(0{,}175 + 0{,}01\,v). \qquad 3)$$

Da v die Geschwindigkeit der Maschine gegenüber dem Erdboden bedeutet, so wird auf derselben Anlaufbahn ein Abkommen unter Umständen gegen den Wind möglich sein, aber mit dem Wind unmöglich, weil in einem Fall gegenüber dem Erdboden grosse, im andern Fall kleine Geschwindigkeiten nötig sind.

Da andererseits G die auf die Räder entfallenden Gewichte darstellt, kann W verkleinert werden dadurch, dass man den Luftwiderstand der Tragflächen vergrössert, so dass sie einen Teil von G tragen, wenn die Zunahme an Luftwiderstand dabei geringer ist als die Abnahme an Bodenwiderstand.

Für den Luftwiderstand der Tragflächen gilt nach Gleichung 16, S. 85, Bd. I

$$Z = Z_o \left(\frac{v}{v_0}\right)^2 \frac{(1 + m\,s^2)\,K^2 + (1 - s)\,K_s^2}{(1 + m)\,K^2},$$

woraus man mit $s = 0$ erhält:

$$Z = Z_o \left(\frac{v}{v_0}\right)^2 \frac{K^2 + K_s^2}{(1 + m)\,K^2}$$

als den näherungsweise kleinsten Widerstand der Maschine beim Anfahren, zu dem der Widerstand W hinzukommt, so dass dann die erforderliche Gesamtzugkraft Z_f ermittelbar ist, wenn Z_o, v_o, K, K_s und m, wie zu erwarten steht, für eine Maschine festliegen. Es ergibt sich damit:

$$Z_f = \frac{G}{D}(2\,f + \mu\,d) + \frac{f'\,v}{D} G + Z_o \left(\frac{v}{v_o}\right)^2 \frac{K\,(1 + m s^2)\,K^2 + (1 - s) K_s^2}{(1 + m)\,K^2}. \qquad 4)$$

Nach Gleichung 15, S. 85, Bd. I ist das Gewicht G', das bei einer dem Wert s entsprechenden Anstellung der Tragflächen getragen wird, wenn G das normale Maschinengewicht ist, das bei der Geschwindigkeit v_o getragen wird,

$$G' = G\left(\frac{v}{v_0}\right)^2 s.$$

Um diesen Betrag G′ verkleinert sich dann das von den Rädern beim Anfahren aufzunehmende Gewicht, so dass zu schreiben wäre:

$$Z_f = \frac{G - G'}{D}(2f + \mu d + f' v) + Z_0\left(\frac{v}{v_0}\right)^2 \frac{(1+ms^2)K^2 + (1-s)K_s^2}{(1+m)K^2}$$

$$= \frac{G}{D}\left[1 - \left(\frac{v}{v_0}\right)^2 s\right](2f + \mu d + f' v)$$

$$+ Z_0\left(\frac{v}{v_0}\right)^2 \frac{(1+ms^2)K^2 + (1-s)K_s^2}{(1+m)K^2}. \qquad 5)$$

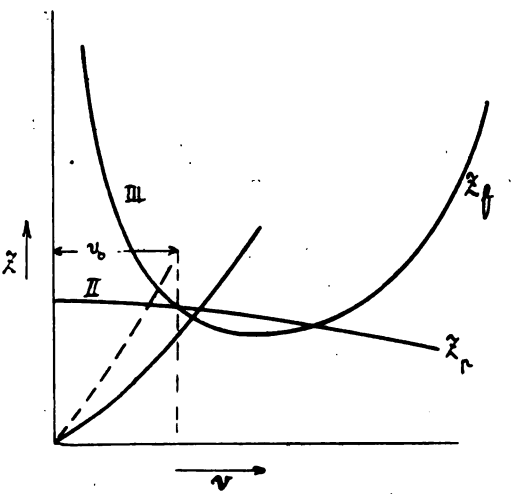


Fig. 1.

Man sieht hieraus, je mehr die Bodenwiderstände überwiegen, um so mehr wird eine Vergrösserung von s eine Verkleinerung von Z_f bewirken, es zeigt sich dabei aber ferner, dass s in diesem Fall, sollen günstigste Verhältnisse erreicht werden, mit v veränderlich sein müsste, und zwar müsste s um so grösser sein, je grösser v ist. Man müsste demnach mit kleinem s anfahren und s mit zunehmender Geschwindigkeit vergrössern. Das gilt um so mehr, je stärker der Anteil W_s ist. Dabei müsste s im günstigsten Falle folgender Gleichung entsprechen:

$$s = \frac{G}{Z_0}\frac{2f + \mu d + f' v}{D}\frac{1+m}{2m} + \frac{1}{2m}\frac{K_s^2}{K^2} \qquad 6)$$

und da K_s^2 im allgemeinen gegenüber K^2 klein ist, könnte auch näherungsweise geschrieben werden:

$$s = \frac{G}{Z_0} \frac{2f + \mu d + f' v}{D} \frac{1 + m}{2m}. \qquad 7)$$

Würde es sich beispielsweise um einen harten, ebenen Boden handeln, so dass

$$\frac{2f + \mu d + f' v}{D v} = 0{,}05$$

wäre, und wäre

$$\frac{G}{Z_0} = 6, \quad m = 3,$$

so ergäbe sich

$$s = 6 \,.\, 0{,}05 \,.\, \frac{2}{3} = 0{,}2.$$

Mit Hilfe der Gleichungen 5 und 7 ist man in der Lage, für jede Geschwindigkeit v die erforderliche Zugkraft der Schraube zu berechnen und man kann so untersuchen, ob bestimmte äussere Verhältnisse ein Abkommen vom Boden ermöglichen werden.

Zeichnet man, wie das in Figur 1 geschehen ist, als Ordinaten die bei verschiedeneu Geschwindigkeiten, bei Verwendung eines bestimmten Motors und einer bestimmten Schraube zu erwartenden Schraubenzugkräfte auf, an Hand der Untersuchungen des E. Abschnitts, so erhält man die Kurve II. Trägt man ebenso die zu verschiedenen Werten v gehörigen Widerstände Z_f auf, so erhält man die Kurve I, trägt man schliesslich noch die für das betreffende Flugzeug zum Flug bei verschiedenen Geschwindigkeiten v verlangten Schraubenzugkräfte auf, so erhält man die Kurve III. Die vorhandene Schraube in Verbindung mit dem vorhandenen Motor erlaubt dem Flugzeug einen Flug bei der Geschwindigkeit v_0, die sich als Schnittpunkt der Kurven II und III ergibt. Die Kurve I veranschaulicht die Zunahme der Fahrwiderstände bis zur Erreichung der Geschwindigkeit v_0; hätte die Kurve I die gestrichelte Lage, so wäre ein Abkommen vom Boden unmöglich. Es ist bei gegebenen Bodenverhältnissen ein Auffliegen erst möglich, wenn Kurve I

jenseits des Schnittpunkts der Kurven II und III liegt. Die Fläche zwischen den Kurven I und II stellt ungefähr das Doppelte der Leistung des Motors dar, die unter Vermittelung der Schraube zur Beschleunigung des Flugzeugs verwendet wurde. Ist der Inhalt dieser Fläche unter Berücksichtigung der Massstäbe der Zeichnung Φ, so ist die Zeit, die bis zur Erreichung der Geschwindigkeit v_o vergeht, aus diesem Flächeninhalt ermittelbar. Zur Beschleunigung des Flugzeugs von der Geschwindigkeit o auf die Geschwindigkeit v_o sind aufzuwenden $\frac{G}{g}\frac{v_o^2}{2}$ mkg Arbeit, demnach ist die Zeit t, die verstreicht:

$$\frac{G}{2g}\frac{v_o^2}{\Phi/_2} = t.$$

Setzt man näherungsweise

$$\Phi = \frac{Z_s \cdot v_o}{2},$$

wo Z_s die Zugkraft der Schraube im Stand ist, so ergibt sich

$$t = 2\frac{G\,v_o}{g \cdot Z_s}.$$

Setzt man gleichfalls in Annäherung den zurückgelegten Weg

$$S = \frac{v_o\, t}{2},$$

so wird

$$S = \frac{v_o^2}{g}\frac{G}{Z_s}. \qquad 8)$$

Aus dem Gang der Rechnung folgt, dass mit diesen Zahlen angenähert der Grenzfall für das Abkommen vom Boden festgelegt ist. Eine grössere Strecke als die Strecke S am Boden zurückzulegen, wäre beim Versuch hochzukommen zwecklos, wenn nicht Hoffnung besteht, dass weiterhin sich entweder die Bodenverhältnisse verbessern, oder unter Umständen die Motorleistung vorübergehend oder dauernd zunimmt, oder dass schliesslich ein günstiger Gegenwind helfend hinzukommt[1]).

[1]) Im Vorstehenden ist angenommen, dass die Luft in Ruhe sei. Da die Fahrwiderstände mit zunehmender Geschwindigkeit wachsen, ist ein Anfahren gegen den Wind vorteilhaft und ein Abkommen möglich, wo es mit dem Wind unmöglich wäre. Die Strecke S verkleinert sich entsprechend den Differenzen zwischen Luft- und Fahrgeschwindigkeit.

Diese Rechnung ist nur ein grober Überschlag, wie es auch nicht anders zweckmässig erscheinen kann, denn eine feinere Rechnung wäre doch nutzlos, da über die Bodenbeschaffenheit genauere Angaben unmöglich erscheinen. In Rücksicht auf diesen ständigen Wechsel der Bodenbeschaffenheit soll es nicht sowohl darauf ankommen, ein zahlenmässig richtiges Resultat zu erhalten, als in erster Linie darauf, den Zusammenhang der ausschlaggebenden Grössen untereinander und ihre gegenseitige Abhängigkeit zu charakterisieren.

Würde z. B. $v_0 = 17$ m/sec sein, ferner $G = 700$, $Z_s = 180$, so wäre

$$S = \frac{17^2}{9{,}81} \cdot \frac{700}{180} = 114 \text{ m}.$$

Für Wasserflugzeuge hat das Anfahren lange Zeit grosse Schwierigkeiten bereitet (wohl in erster Linie wegen Verwendung zu schwacher Maschinen). Es gelten hier ganz ähnliche Beziehungen wie für Landmaschinen, wenn sie auch etwas komplizierter sind.

An Stelle der rollenden und gleitenden Reibung der Räder tritt der Fahrwiderstand der Schwimmkörper. Handelt es sich um Schwimmkörper, die keine Ausbildung als Wassertragflächen aufweisen, also um mehr oder weniger zylindrische Körper, so wird, ganz entsprechend dem Fahrwiderstand der Räder, dieser Widerstand proportional dem durch die Schwimmer zu tragenden Gewicht sein, denn der Schwimmer taucht um so weiter aus dem Wasser heraus, je grösser der Anteil des Gewichts ist, der von den Tragflächen, sobald eine bestimmte Geschwindigkeit erreicht ist, getragen wird.

Ist Q die Summe der Querschnitte der Schwimmkörper in der Fahrrichtung und L die mittlere Länge der Schwimmkörper, γ_w das spezifische Gewicht des Wassers, so muss sein:

$$Q\,L\,\gamma_w \geqq G, \qquad 9)$$

wenn G das Gewicht des vollbesetzten Flugzeugs ist. Der Fahrwiderstand W_1 der Schwimmkörper wird zu setzen sein

$$W_1 = Q \frac{\gamma_w}{g} v^2 \cdot K_w. \qquad 10)$$

Zusammen mit obiger Beziehung ist demnach

$$W_1 = \frac{G}{g\,L}\, v^2\, K_w \text{ [1]}. \qquad 11)$$

Für K_w wäre je nach der mehr oder weniger günstigen Form des Schwimmkörpers zu setzen 0,05 bis 0,15 (für ausgesprochen schlechte, d. h. kurze und breite Formen erreicht K_w Werte bis 0,5). Dabei gelten betreffs günstiger Form der Schwimmkörper ganz ähnliche Gesichtspunkte, wie für Körper in der Luft. Der Anteil W_s für Bewegung auf dem Boden hat für Bewegung auf dem Wasser sein Gegenstück in dem Einfluss der Wellen, die infolge Anpralls gegen die Schwimmkörper eine ähnliche hemmende Wirkung ausüben, wie Bodenunebenheiten bei Fahrt mit Rädern.

Dementsprechend wäre für Wasserflugzeuge mit Schwimmkörpern

$$W_s = f'_w \cdot \frac{v G}{Lg} \text{ [2]} \text{ zu setzen} \qquad 12)$$

und man erhielte entsprechend Gleichung 5 Seite 4

$$Z_f = \frac{G}{L_g}\,(v^2 K_w + v\, f'_w)\left[(1 - \left(\frac{v}{v_o}\right)^2 s\right] + Z_o\left(\frac{v}{v_o}\right)^2 \frac{(1 + ms^2)\,K^2 + (1 - s)\,K_s^2}{(1 + m)\,K^2}. \qquad 13)$$

Es könnten nun ganz analog die früheren weiteren Betrachtungen angeschlossen werden.

Sind die Schwimmkörper gleichzeitig als Wassertragflächen ausgebildet, so wird auch ohne den Einfluss der Lufttragflächen ihre Tauchtiefe mit zunehmender Geschwindigkeit geringer. Besteht für sie ein bestimmtes Verhältnis n von Auftrieb zu Rück-

---

[1]) Streng genommen müsste hier wie im folgenden zwischen der Geschwindigkeit des Wassers (oder seiner Wellen), der des Flugzeugs und der der Luft unterschieden werden, sollten genaue Resultate, die weitergehende Folgerungen zulassen, erhalten werden. Bei Anwendung nur statisch tragender Schwimmkörper würde man finden, dass die Verhältnisse am günstigsten werden, wenn das Flugzeug in Richtung der Strömung des Wassers gegen den Wind vorwärts geht.

[2]) Auch hier müsste bei strengerer Rechnung zwischen der Geschwindigkeit des Wassers, der Luft und des Flugzeugs unterschieden werden.

trieb, das von der Tauchtiefe unabhängig ist und damit auch von der Geschwindigkeit (voraussichtlich wird aber bei geringerer Tauchtiefe der Auftrieb im Verhältnis zum Rücktrieb günstiger), und wird ausserdem die Neigung der Wassertragfläche gegenüber der Fahrrichtung nicht geändert, so ist:

$$G = n\,W_1 + QL\,\gamma_w + G\left(\frac{v}{v}\right)^2 s \qquad 14)$$

wobei der Ausdruck $QL\,\gamma_w$ den statischen Auftrieb der Schwimmkörper angibt, der seinerseits in bezug auf Q und L von der Tauchtiefe abhängt, und der Ausdruck $G\left(\frac{v}{v_o}\right)^2 s$ die Tragkraft der Lufttragflächen.

Daraus bestimmt sich W_1 zu

$$W_1 = \left[G - QL\,\gamma_w - G\left(\frac{v}{v_o}\right)^2 s\right]\frac{1}{n}.$$

$$= \frac{G}{n}\left[1 - \left(\frac{v}{v_o}\right)^2 s - \frac{QL\,\gamma_w}{G}\right] \qquad 15)$$

und damit wird analog wie früher

$$Z_f = \frac{G}{n}\left(1 - \left(\frac{v}{v_o}\right)^2 s - \frac{QL\,\gamma_w}{G}\right) + \frac{QL.\,v}{G} f'\omega$$

$$+ Z_o\left(\frac{v}{v_o}\right)^2 \frac{(1 + ms^2)\,K^2 + (1 - s)\,K_3^2}{(1 + m)\,K^2} \qquad 16)$$

der mittlere Summand stellt wieder den hemmenden Einfluss der Wellenschläge dar, und QL ist, wie schon gesagt, in dem Ausdruck eine veränderliche Grösse, die analytisch nicht fassbar ist und an Hand von Zeichnungen für verschiedene Tauchtiefen ermittelt werden müsste.

Ein Abkommen vom Wasser ist, wie früher vom Boden, nur möglich, wenn Z_f bis zur Erreichung der Geschwindigkeit v'_o, d. i. der kleinsten möglichen Fluggeschwindigkeit, kleiner als Z_o bleibt. Das ist wie am Boden um so leichter möglich, je grösser der Unterschied zwischen der grössten und kleinsten Fluggeschwindigkeit für das betreffende Flugzeug ist und je weiter der Coeffizient m von 1 abliegt.

Eine weiter in die Einzelheiten eindringende Untersuchung der Abflugverhältnisse für Wasserflugmaschinen würde über den Rahmen dieses Buches hinausgehen.

Die Schwierigkeiten des Abfluges werden behoben, und die Strecke S stark verkleinert durch die Verwendung von Startvorrichtungen. Das Wesen der Startvorrichtungen besteht darin, dass nicht dem Motor durch Vermittelung der Schraube die Aufgabe zufällt, dem Flugzeug die erforderliche Beschleunigungsarbeit $\frac{G}{g}\frac{v^2}{2}$ zuzuführen, sondern hierfür künstliche Zusatz-Kräfte uud -Arbeiten zu verwenden. Tatsächlich ist der Motor in Verbindung mit der Schraube hierfür auch sehr schlecht geeignet und zwar deshalb, weil bei den anfänglich geringen Geschwindigkeiten des Flugzeugs der Schraubenwirkungsgrad sehr schlecht ist und so einerseits nur ein Bruchteil der vom Motor erzeugten Energie tatsächlich an das Flugzeug abgegeben wird, andererseits ein ganzer Teil dieser Energie durch die Fahrwiderstände verzehrt wird. Könnte man einfach mit der Motorleistung rechnen, so ergäbe sich für ein Flugzeug mit 700 kg Gewicht und 16 m/sec Abfluggeschwindigkeit bei Verwendung eines 70 PS-Motors Folgendes: Die zur Beschleunigung erforderliche Arbeit wäre

$$\frac{700}{9{,}81}\cdot\frac{16^2}{2} = 9\,100 \text{ mkg}$$

die Motorarbeit pro Sekunde wäre dagegen

$$70 \cdot 75 = 5\,250 \text{ mkg},$$

so dass 16 m/sec Geschwindigkeit nach $\frac{9\,100}{5\,250} = 1{,}73$ Sekunden erreicht wären. In dieser Zeit wäre eine Strecke von ca. $\frac{1{,}73 \cdot 16}{2} = \sim 14$ m zurückgelegt.

Eine Verbesserung würde man also jedenfalls erreichen (bei Inkaufnahme entsprechender Komplikationen und Mehrgewichte), wenn der Motor während des Anfahrens auf die Laufräder unter Vermittelung eines Wechselgetriebes arbeiten würde, wobei aber immer noch die Fahrwiderstände den Erfolg beeinträchtigen würden. Je geringer die Anlaufstrecke ist, das darf nicht ausser Acht gelassen werden, um so grösser sind die erforderlichen Beschleunigungskräfte, die das Flugzeug und die arbeitsübertragenden Teile entsprechend beanspruchen. Soll in dem

vorstehenden Beispiel auf einer Strecke von 14 m dem Flugzeug 9 100 mkg an Beschleunigungsarbeit übermittelt werden, so entspricht dem eine mittlere Zugkraft von $\frac{9100}{14} = 650$ kg. Bei noch kleineren Anlaufstrecken würde diese Kraft entsprechend grösser und erforderte genügend kräftigen Aufbau der übertragenden Glieder zwischen den zu beschleunigenden Massen einerseits und dem Kraftangriff andererseits.

Man kann nun fremde Kraftquellen für die Beschleunigung des Flugzeuges zu Hilfe nehmen, bekannt ist die klassische Startvorrichtung der Gebrüder Wright, die die zur Flugzeugbeschleunigung erforderliche Arbeit in einem, auf eine bestimmte Höhe mittelst Winde hinaufgehobenen Gewicht aufspeicherten, so dass das herabfallende Gewicht durch Vermittelung eines Seilzuges das Flugzeug beschleunigte, wobei das Seil automatisch ausgeklinkt wurde, nachdem die Beschleunigung beendet war. Eine Schienenbahn sorgte gleichzeitig dafür, die Fahrwiderstände auf ein Minimum herabzusetzen. Die Berechnung ist immer die gleiche. Sieht man davon ab, dass durch den Motor beim Anfahren auch ein Teil der Beschleunigungsarbeit aufgebracht wird, so ergäbe sich im Fall des vorausgegangenen Beispiels, dass ein Gewicht von 910 kg auf eine Höhe von 10 m gehoben für die Beschleunigung genügen würde. Wie bei der Wrightschen Startvorrichtung könnte dabei durch Einschaltung von Übersetzungen die Länge der Anlaufbahn so gewählt werden, dass die Beschleunigungskräfte eine unbequeme Grösse nicht erreichen.

Man könnte auch daran denken, das Gewicht des Flugzeuges selbst zur Beschleunigung zu verwenden, indem man nach dem Vorgang von Hofmann das Flugzeug auf entsprechend hohe, umlegbare Beine stellt, die dann auch nach erfolgtem Abflug umgelegt als Träger für Stabilisierungs- und Steuerflächen verwendet werden könnten, wobei angenommen wird, dass die durch die hohe Lage des Flugzeugschwerpunktes aufgespeicherte Arbeit beim Herabsinken von der Höhe zur Beschleunigung der Flugzeugmassen in der Horizontalen dient. In dem mehrfach angeführten Beispiel müssten diese Beine $\frac{9100}{700} = 13$ m hoch sein.

Da diese Höhe bedenklich scheinen könnte, so könnte man weiterhin einen Erdhügel von 3 m Höhe verwenden, wie ein solcher zum mindesten an vielen Stellen vorhanden wäre und es würden dann 10 m hohe Beine genügen. Da es nun jedenfalls nicht angängig wäre, die ganze Beinhöhe von 10 m auszunützen, weil sonst der Schwerpunkt des Ganzen beim Abflug bis auf den Boden herabsinken müsste, so kann man zur Kompensation weiterhin damit rechnen, dass der Motor auch zur Beschleunigung beiträgt, (freilich infolge des schlechten Schraubenwirkungsgrades wie ausgeführt wenig), so dass man gerade noch auskommen könnte, vorausgesetzt, dass die genannte Annahme zutrifft, nach der beim Herabsinken die aufgespeicherte Energie tatsächlich zur Flugzeugbeschleunigung in der Horizontalen dient. Ohne Weiteres wird das aber sicher nicht der Fall sein, sondern es wird beim Herabsinken in der Hauptsache eine vertikale Beschleunigung eintreten, weil die Flugzeugmassen durch die umkippenden Beine nur auf einem Kreisbogen geführt werden. Allerdings wird infolge der Wirkung der Tragflächen dabei auch ein Vortrieb erzeugt, der aber nicht entfernt zur horizontalen Beschleunigung ausreicht, auch nicht unter Zuhilfenahme des Schraubenzugs. Das dem so ist, zeigt ohne Weiteres jeder Modellversuch. Stets sind ziemlich beträchtliche Fallhöhen nötig, damit ein fallen gelassenes Modell in schrägen Flug übergeht, Fallhöhen, die beträchtlich sind im Vergleich zu den in dem betreffenden Fall erforderlichen Beschleunigungsarbeiten.

Scheint uns demnach eine Startvorrichtung dieser Art leider nicht vielversprechend, leider, weil sie den grossen Vorzug hätte, ohne grosse Komplikationen kleine Abflugstrecken zu ermöglichen, so könnte man darauf sinnen, andere Kraftquellen zu Hilfe zu nehmen.

So sind Explosivstoffe vorgeschlagen worden, die, zur Explosion gebracht, durch den Rückdruck das Flugzeug beschleunigen.

Wird durch Explosion oder andere Kraftwirkung eine Masse m_1, beschleunigt auf eine Geschwindigkeit v_1, und steht dem die Flugzeugmasse m_2 gegenüber, die durch den Rückdruck

auf die Geschwindigkeit v_2 gebracht wird, so ist die Arbeit, die bei der Explosion erzeugt wurde,

$$A = m_1 \frac{v_1^2}{2} + m_2 \frac{v_2^2}{2}. \qquad 17)$$

Dabei ist $m_2 \frac{v_2^2}{2}$ eine geforderte Grösse, eben die zur Beschleunigung des Flugzeuges von der Masse m_2 auf die Geschwindigkeit v_2 erforderliche Arbeit und man sieht zunächst, dass nur ein Teil der zur Verfügung stehenden Arbeit auf das Flugzeug übertragen wird, nämlich der Teil $A - \frac{m_1 v_1^2}{2}$, der also um so kleiner ist, je grösser $\frac{m_1 v_1^2}{2}$ ist. Nun besteht zwischen m_1, v_1, m_2, v_2 der Zusammenhang

$$m_1 v_1 = m_2 v_2, \qquad 18)$$

so dass man schreiben kann

$$A = \frac{m_2 v_2}{2}(v_1 + v_2). \qquad 19)$$

Die Ausnützung der zur Verfügung stehenden Arbeit ist dann ausgedrückt durch

$$\frac{\frac{m_2 v_2^2}{2}}{\frac{m_2 v_2}{2}(v_1 + v_2)} = \frac{v_2}{v_1 + v_2} \qquad 20)$$

daraus folgt: Im Interesse guter Ausnützung muss v_1 möglichst klein und unter Berücksichtigung von Gleichung 18, worin $m_2 v_2$ geforderte Grössen sind, m_1 möglichst gross sein. Soll nicht das Flugzeug durch m_1 unzulässig beschwert werden, so müsste m_1 an jeder Startstelle in beliebiger Menge vorhanden sein.

Je heftiger und rasanter die Explosion, um so kürzer würde die Anlaufstrecke, um so grösser würden aber, wie früher, die Beschleunigungskräfte.

Ob auf diesem Weg Erfolge möglich sind — die Wahrscheinlichkeit ist jedenfalls nicht sehr gross — muss die Zukunft lehren. Bei Wasserflugzeugen, wo für m_1 Wasser genommen werden könnte, scheint die Ausführung leichter, andererseits ist die Grösse der Anlaufstrecke, wenigstens bei ruhiger Wasser-

fläche, nicht von der gleichen Bedeutung wie auf dem Lande; bei bewegter Wasserfläche könnte unter Umständen ein Fortschritt auf solche oder ähnliche Weise möglich sein.

G. Die Landung.

Die Vorbereitung zur Landung besteht in einer Annäherung an den Boden, ist also in den Abschnitten über die schräge Flugbahn und über den Gleitflug behandelt, je nachdem diese Annäherung mit oder ohne Motorkraft erfolgt.

Die Landung selbst soll natürlich möglichst sanft vor sich gehen, zu welchem Zweck die Flugbahn die Erdoberfläche nach Möglichkeit tangieren sollte. Die Geschwindigkeit des Flugzeugs senkrecht zur Erdoberfläche ist dann Null. Spätestens in dem Augenblick, wo die Berührung mit dem Erdboden stattfindet, ist im Interesse einer möglichst kurzen Auslaufstrecke der Motor abzustellen.

Der Auslauf selbst und die Grösse der Auslaufstrecke richten sich nach den Fahrwiderständen. Auf der einen Seite steht ein gewisses, der lebendigen Kraft des Flugzeugs infolge seiner Geschwindigkeit entsprechendes Arbeitsvermögen $\frac{G v^2}{2g}$, auf der anderen Seite die Fahrwiderstände, die auf der Auslaufstrecke S überwunden werden. Diese Fahrwiderstände sind im vorigen Abschnitt besprochen. Man wird sie im Interesse eines kurzen Auslaufs, so weit man kann, zu vergrössern suchen. Das kann geschehen durch Bremsung an den Rädern oder durch sonstige, den Boden berührende Elemente. Dazu können Kufen dienen, die bei der Durchfederung der Räder den Boden berühren, oder es kann ein klauenförmiger Hebel vom Führer durch entsprechende Hebelbewegung gegen den Boden gedrückt werden usw.

Man kann den Fahrwiderstand auch durch Vergrösserung von s erhöhen, doch ist darauf zu achten, dass nicht die Maschine dabei von neuem angehoben wird, wie das möglich ist, wenn ihre Geschwindigkeit noch verhältnismässig gross ist.

Sie verliert dann, sehr schnell aufsteigend, ihre Geschwindigkeit und fällt darauf wieder zurück, wobei natürlich die Berührung mit dem Boden unsanft ausfällt.

Die in dieser Hinsicht anzustellenden Rechnungen weichen nicht wesentlich von den Rechnungen des vorigen Abschnitts ab und haben im Einzelnen wenig Interesse.

Es wird nun schwer sein, ganz genau tangential zur Erdoberfläche zu landen, vielmehr wird praktisch zwischen der Richtung, in der das Flugzeug auf den Erdboden auftrifft und dem Erdboden selbst ein Winkel γ liegen. Dementsprechend hat die Geschwindigkeit v des Flugzeugs gegenüber dem Erdboden eine vertikale Komponente von der Grösse $v \sin \gamma$, und es muss beim Auftreffen auf den Boden die dieser Komponente entsprechende lebendige Kraft $\frac{G}{2g} v^2 \sin^2 \gamma$ vernichtet werden, soll nicht ein harter Stoss auftreten. Diese lebendige Kraft kann nur durch Formänderungsarbeit verzehrt werden. Zum Teil erstreckt sich diese Formänderungsarbeit auf den Erdboden, der an der betreffenden Stelle eingedrückt wird, zum Teil auf alle Teile des Flugzeugs, die durchfedern, schliesslich erstreckt sie sich, und zwar bei normaler Landung zum grössten Teil, auf die für die Abfederung vorgesehenen Organe der Maschine. Ganz entsprechend den Betrachtungen im vorausgegangenen Abschnitt sind die zur Vernichtung der lebendigen Kraft des Flugzeugs erforderlichen Verzögerungskräfte um so grösser, je kleiner die Wege sind, auf denen die Verzögerung stattfindet. Diese Verzögerungskräfte beanspruchen dann alle Teile der Maschine. Sollen sie also nicht übermässig gross werden, so sind nicht zu kleine Federungswege vorzusehen.

Sind die Federungen an den Rädern angebracht, so steht im Allgemeinen ein Federungsweg zur Verfügung, der etwa dem halben Radius des Rades entspricht. Die Grösse der Verzögerungskraft richtet sich dabei nach der Vorspannung, die die Federung besitzt und nach der Zunahme der Federspannung mit dem Federungsweg. Ist in Fig. 2 K_1 die Vorspannung der Federung, d. h. ihre Kraft im Ruhezustand, und K_2 die Kraft, die sie aufweist, wenn eine Durchfederung um die Strecke l

erfolgt ist, so ist die Arbeit, die die Federung bei einer Durchfederung um die Strecke l in sich aufnimmt $\frac{K_1 + K_2}{2} l$. Bei der Durchfederung ist aber auch G um die Strecke l gesunken, was einem Arbeitsgewinn gleich käme. Sollte die ganze lebendige Kraft von der Federung aufgenommen werden können, so müsste demnach sein

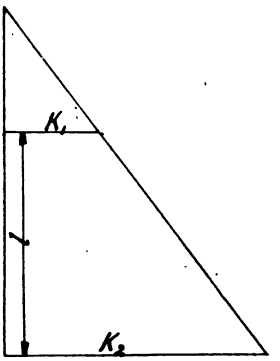


Fig. 2.

$$Gl + \frac{G}{2g} v^2 \sin^2\gamma = \frac{K_1 + K_2}{2} l. \qquad 1)$$

Damit wäre man in der Lage, bei Annahme eines Winkels γ und einer bei der gesamten Anordnung möglichen Durchfederung l $K_1 + K_2$ zu berechnen. K_2 ist dann die grösste zu erwartende Verzögerungskraft.

Handelt es sich um die vielfach angewendete Federung mit

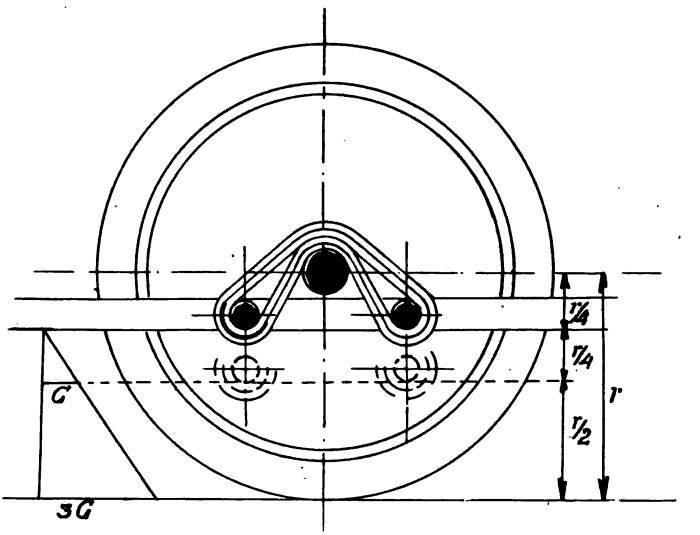


Fig. 3.

Gummiringen, so ist die Spannung im Gummi gewöhnlich so gewählt, dass bei der punktiert gezeichneten Stellung Fig. 3 die

Ringe das Gewicht der Maschine tragen, während die stark gezeichnete Stellung für unbelasteten Zustand gilt, wo also die Federkraft Null ist. Daraus folgt das verzeichnete Federdiagramm. Die grösste Verzögerungskraft ist gleich dem dreifachen Gewicht, die Formänderungsarbeit aber ist $\frac{3}{2} G \cdot \frac{3}{4} r$ entsprechend dem Inhalt des Diagramms. Damit ergibt sich

$$\frac{3}{4} Gr + \frac{G}{2g} v^2 \cdot \sin^2 \gamma = \frac{9}{8} G \cdot r, \text{ oder}$$

$$\frac{1}{2g} v^2 \sin^2 \gamma = \frac{3}{8} r,$$

$$v^2 \sin^2 \gamma = 7{,}3\ r. \quad \text{Gl. 2)}$$

Mit $v = 20$ und $r = 0{,}3$ wäre

$$\sin^2 \gamma = \frac{7{,}3 . 0{,}3}{20^2} = 0{,}0022,$$

$$\gamma = 2^0{,}6.$$

Der Teil der lebendigen Energie, der durch sonstige Formänderungsarbeit aufgezehrt wird, würde für die Maschine eine Reserve bedeuten.

Wäre der Winkel γ grösser, so würde die Kufe auf dem Boden aufstossen, die Verzögerungskräfte würden sehr stark anwachsen und die Formänderungsarbeit, die sich in der ganzen Maschine vollzieht, hätte die überschüssige lebendige Kraft unter Umständen unter Zerstörung einzelner Teile zu verzehren.

Sind die Tragflächen der Maschine, wie bei der alten Wrightmaschine, sehr nahe am Boden angeordnet, so wirken diese nach Art einer Federung, weil die Luft unter ihnen nicht schnell genug entweichen kann. Eine solche Anordnung der Tragflächen ist aber beim Anfahren und Landen auf unebenem Boden sehr hinderlich, weil man dann leicht mit der Flügelspitze den Boden streift, was zu Brüchen und auch zu einem Überschlagen der Maschine am Boden führen kann.

Die Forderung, tangential zur Erdoberfläche zu landen, kann, wenn die Landung ohne Motorkraft, im Gleitflug, erfolgt, zu Schwierigkeiten führen. Dabei ist natürlich Voraussetzung, dass der Motor nicht dicht über dem Boden wieder angestellt

wird, denn dann würde sich die Landung von der besprochenen nicht unterscheiden.

Kommt die Maschine mehr oder weniger steil in gerader Bahn herunter, so muss in irgend einer Höhe H, siehe Fig. 4 S. 19, ein Einlenken in die Horizontale stattfinden. Das kann nur dadurch geschehen, dass die auf die Maschine senkrecht zur Flugbahn wirkenden Kräfte vergrössert werden durch entsprechende Änderung des Anstellwinkels, erstens, weil mit Verkleinerung von β die senkrecht zur Flugbahn stehende Gewichtskomponente grösser wird, und zweitens, weil eine zur Krümmung der Flugbahn entsprechende Zentrifugalkraft hinzukommt. Dabei wird im allgemeinen auch der Flugwiderstand vergrössert. Wie dann die Flugbahn flacher wird, wird andererseits die in die Richtung der Flugbahn fallende Komponente der Gewichtskräfte, die den Vortrieb abgibt, kleiner, es muss deshalb notwendig die Fluggeschwindigkeit abnehmen, und damit die Tragkraft. Es kann dann der Moment eintreten, wo die Kräfte senkrecht zur Flugbahn nicht mehr ausreichen, um der in diese Richtung fallenden Gewichtskomponente und der mit der krummlinigen Flugbahn auftretenden Zentrifugalkraft das Gleichgewicht zu halten. Von diesem Augenblick an kann die Maschine nicht mehr auf der gewünschten krummen Bahn gehalten werden, und sie wird mehr oder weniger heftig auf den Erdboden aufstossen, sie „schlägt durch" oder sie „sackt durch". Diese Dinge müssen näher untersucht werden und wir werden finden, dass für eine bestimmte Maschine eine ganz bestimmte Grösse des Gleitwinkels erforderlich ist, die nicht unterschritten werden darf, wenn ein Durchschlagen vermieden werden soll. Wir sehen also, dass es nicht allein Wagemut und Übermut ist, wenn ein steiler Abstieg vorgenommen wird, und wir erkennen andererseits, dass tatsächlich Gefahren mit dem reinen Gleitflug verbunden sind, weil es einmal darauf ankommt, diesen erforderlichen Gleitwinkel zu treffen und einzuhalten, sodann aber in der richtigen Höhe H in die krumme Bahn überzugehen. Das Flugzeug komme mit der Gleitgeschwindigkeit v_g unter dem Gleitwinkel β in der Höhe H im Gleitflug an und biege dann in eine Kreisbahn vom Radius r ein. Im Punkt B sei die Geschwindigkeit

des Flugzeugs v und es sei der Winkel $\beta - \varphi$ auf der Kreisbahn zurückgelegt. Die auf der Flugbahn senkrecht stehenden Kräfte sind dann: G cos φ und die Zentrifugalkraft $\frac{G}{g}\frac{v^2}{r}$. Die in Richtung der Flugbahn liegenden Kräfte hingegen G sin φ + P, worin P die Massenkraft des Flugzeugs darstellt, die bei der eintretenden Verzögerung sich äussert. Die auf dem Weg von A bis B frei gewordene Arbeit ist gleich der Summe aus der Abnahme der lebendigen Energie von $\frac{G}{2g} v^2_g$ auf $\frac{G}{2g} v^2$, wenn

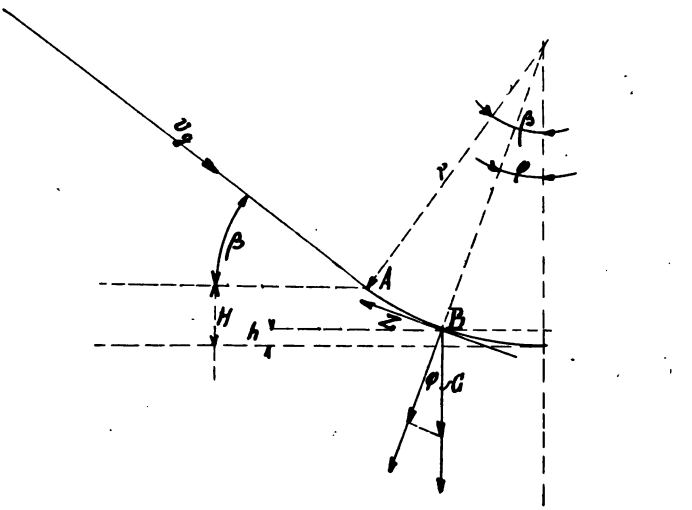


Fig. 4.

G das Maschinengewicht ist, und der der Fallhöhe H—h entsprechenden Arbeit. Diese ist r (1 — cos β) — r (1 — cos φ) = r (cos φ — cos β). Die freigewordene Arbeit ist also: $\frac{G}{2g}(v^2_g - v^2)$ + G r (cos φ — cos β). Diese Arbeit diente dazu, die Widerstände auf einem Wege von der Grösse des Bogens r ($\beta - \varphi$) zu überwinden. Dabei ist in der Regel der zweite Teil gegenüber dem ersten klein.

Bezeichnet man mit v_0 die Geschwindigkeit, bei der für die betreffende Maschine der horizontale Flug stattfindet, so kann

man die Forderung aufstellen, dass v für $\varphi = 0$ nicht unter den Wert v_0 sinke, so dass dann für den Weg $r\beta$ die Arbeit $\frac{G}{2g}(v_g^2 - v_0^2) + G r (1 - \cos\beta)$ zur Verfügung steht oder angenähert die Arbeit $\frac{G}{2g}(v_g^2 - v_0^2)$.

Die Kräfte senkrecht zur Flugbahn sind

$$V = G\cos\varphi + \frac{G}{g}\frac{v^2}{r}. \qquad 3)$$

Dabei gilt für die Maschine nach früherem

$$V = G\left(\frac{v}{v_0}\right)^2 s,$$

so dass man erhält:

$$G\cos\varphi + \frac{G}{g}\frac{v^2}{r} = G\left(\frac{v}{v_0}\right)^2 s$$

oder $$s = \left(\cos\varphi + \frac{v^2}{gr}\right)\left(\frac{v_0}{v}\right)^2 = \left(\frac{v_0}{v}\right)^2\cos\varphi + \frac{v_0^2}{gr} \qquad 4)$$

oder angenähert mit $\cos\varphi = 1$

$$s = \left(\frac{v_0}{v}\right)^2 + \frac{v_0^2}{gr}, \qquad 5)$$

d. h., s ist veränderlich und muss mit abnehmendem v, wie einleuchtend, grösser werden.

Der Widerstand in Richtung der Flugbahn ist nach früherem

$$H = \left(\frac{v}{v_0}\right)^2 Z_0 \cdot \frac{(1 + m s^2) K^2 + (1 - s) K_3^2}{(1 + m) K^2}. \qquad 6)$$

Es werde angenommen, dass die Änderungen von s nicht so beträchtlich seien, dass K_3 von Einfluss wäre, womit man erhielte:

$$H = \left(\frac{v}{v_0}\right)^2 Z_0 \frac{1 + m\left[\left(\frac{v_0}{v}\right)^2 + \frac{v_0^2}{gr}\right]^2}{1 + m}; \qquad 7)$$

hierfür kann man auch schreiben:

$$H = \left(\frac{v}{v_0}\right)^2 G \frac{K_2}{K_1} K \left[1 + m\left[\left(\frac{v_0}{v}\right)^2 + \frac{v_0^2}{gr}\right]^2\right]\sqrt{3m}. \qquad 8)$$

Nimmt man ferner an, r sei konstant und H ändere sich pro-

portional dem Weg, so wird H beim Beginn der Kurve sein:

$$H = \left(\frac{v_g}{v_o}\right)^2 \left(1 + m\left[\left(\frac{v_o}{v_g}\right)^2 + \frac{v_o^2}{\nu g}\right]^2\right) G \frac{K_2}{K_1} K \sqrt{3m} \qquad 9)$$

und da die kleinste zulässige Geschwindigkeit v_o ist, so wird H am Ende der Kurve, wo $\varphi = o$ ist, sein:

$$H = \left(\frac{v_o}{v_o}\right)^2 \left(1 + m\left[\left(\frac{v_o}{v_o}\right)^2 + \frac{v_o^2}{\nu g}\right]^2\right) G \frac{K_2}{K_1} K \sqrt{3m} \qquad 10)$$

$$= \left(1 + m\left(1 + \frac{v_o^2}{\nu g}\right)^2\right) G \frac{K_2}{K_1} K \sqrt{3m}.$$

Die durch H auf dem Weg $r\beta$ verzehrte Arbeit wäre demnach

$$A = \frac{r\beta}{2}\left[\left(\frac{v_g}{v_o}\right)^2 \left(1 + m\left[\left(\frac{v_o}{v_g}\right)^2 + \frac{v_o^2}{rg}\right]^2\right) + \left(1 + m\left(1 + \frac{v_o^2}{rg}\right)^2\right)\right]^2 G \frac{K_2}{K_1} K \sqrt{3m} \qquad 11)$$

Diese Arbeit kann andererseits nur sein:

$$A = \frac{G}{2g}(v_g^2 - v_o^2) + G r (1 - \cos\beta). \qquad 12)$$

Nun besteht nach früherem noch eine Beziehung zwischen dem Gleitwinkel β und der Gleitgeschwindigkeit v_g, wonach (vgl. Gleichung 1, S. 97, Bd. I, und Gleichung 15, S. 85, Bd. I)

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{K_2^2}{K_1^2}\left[K_3^2\left(1 - \frac{v_o^2}{v_g^2}\right)\frac{v_g^2}{v_o^2} + \frac{v_g^2}{v_o^2}\left[1 + m\left(\frac{v_g}{v_o}\right)^4\right]K^2\right] \text{ ist.} \qquad 13)$$

Die Gleichheit der Werte A kann, wie einleuchtend, nur für einen bestimmten Wert β erreicht werden. Ist β zu klein, so reicht die lebendige Kraft des Flugzeugs nicht aus, ist β zu gross, so wird in einem Moment zwar die Flugbahn parallel dem Boden sein, dann aber wieder nach oben abbiegen. Diesem Umstand kann dann allerdings durch geeignete Steuerung begegnet werden.

Die vorstehende Rechnung ist summarisch und kann keinen Anspruch auf Exaktheit machen[1]). Sie soll auch nur die inneren Zusammenhänge andeuten. Zudem gilt das an anderer Stelle

[1]) Eine genauere Rechnung ist wohl durchführbar, liefert aber noch weniger übersichtliche und umständlichere Resultate.

Gesagte auch hier, dass nämlich eine genaue Kenntnis des erforderlichen Winkels β wenig Zweck hätte, weil die Einhaltung dieses Winkels doch lediglich von der Geschicklichkeit des Führers abhängen würde. Man sieht aber aus der Aufstellung, dass die geforderte Arbeit um so grösser und die zur Verfügung stehende um so kleiner ist, je kleiner r ist, daraus würde folgen, dass scharfe Schwenkungen gefährlich sind.

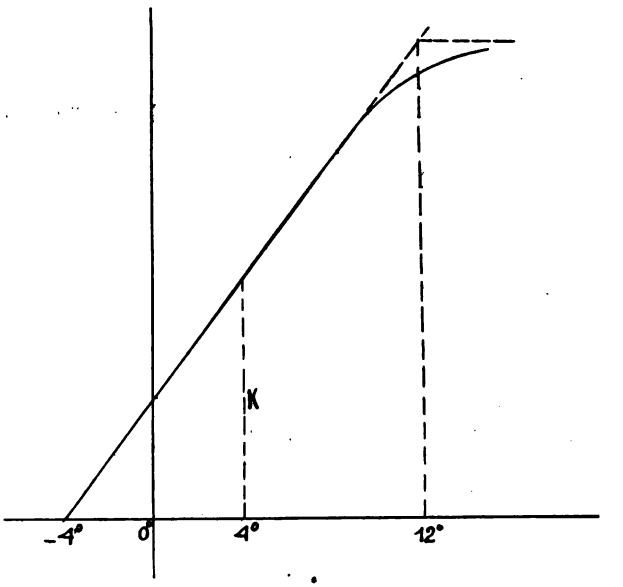


Fig. 5.

Man sieht ausserdem, dass, je grösser m ist, um so grösser wird die geforderte Arbeit (um so grösser wird ausserdem Z_o). Maschinen mit m grösser als 1 erfordern also steilere Gleitwinkel als mit $m = 1$. Ist hingegen m kleiner als 1, so wächst Z_o sehr rasch mit der Abnahme von m, was gleichfalls grosse Winkel β bedingt. Da im übrigen Z_o mit K wächst, so wäre auch in dieser Hinsicht, wie in jeder andern, K so klein anzustreben als möglich.

Beim Einbiegen vom Gleitflug in die Kurve treten grosse Kräfte senkrecht zur Flugbahn auf, weil zu der Gewichtswirkung sich die Wirkung der Zentrifugalkraft addiert. Die vor-

stehende Betrachtung ist aber nicht geeignet, über die Grösse der zu erwartenden Kräfte Aufschluss zu geben, diese Grösse wird auch stark von der Willkür des Flugzeugführers abhängen. Zu einer gewissen Schätzung dieser Grösse kann man aber auf folgendem Weg gelangen.

Die Auftriebskoeffizienten verschiedener Tragflächenformen geben in Abhängigkeit von dem Anstellwinkel Kurven, die einen Verlauf haben, wie er der Fig. 5 entspricht. Man kann annehmen, dass bei einem Gleitflug die Geschwindigkeit in der Flugbahn nicht über einen solchen Wert gesteigert wird, dass die Luftdrücke verdoppelt werden. Die Kräfte senkrecht zur Flugbahn $G \cos \beta$ sind dann immer noch ungefähr so gross, wie das Maschinengewicht, da $\cos \beta$ nahezu gleich 1 sein wird. Infolgedessen muss der Anstellwinkel der Tragfläche so viel verkleinert sein, dass der Auftriebskoeffizient halb so gross ist, wie bei horizontalem Flug. Bei horizontalem Flug wird er etwa der Linie K (Fig. 5) bei 4^0 Anstellwinkel entsprechen, während der grösste Koeffizient für die meisten Flächen ungefähr etwa bei 12^0 liegt, d. h., der grösste Auftriebskoeffizient wäre unter diesen Voraussetzungen viermal so gross als der, mit dem bei einem steilen Gleitflug zu rechnen wäre. Wird also vom Führer plötzlich die Maschine aufgerichtet, so können die Kräfte senkrecht zur Flugbahn nicht über den vierfachen Wert gegenüber der Belastung bei horizontalem Flug wachsen. Es ist aber im Auge zu behalten, dass Voraussetzung der Überlegung war, dass der Gleitflug nicht steiler vor sich ginge, als dass eine Verdoppelung des Luftdrucks einträte. Das scheint aber eine plausible Annahme, da der Führer die Geschwindigkeit eben nach der Grösse des auf seinen Körper geäusserten Luftdrucks schätzen wird.

Würde man bei einem steilen Gleitflug mit einer Verdoppelung der Geschwindigkeit gegenüber horizontalem Flug rechnen, womit die Luftdrücke viermal so gross würden, so könnten die Kräfte senkrecht zur Flugbahn höchstens auf den achtfachen Betrag gegenüber dem horizontalen Flug anwachsen.

Auch der Winkel, unter dem der Flug erfolgen würde, lässt sich auf dem angegebenen Weg schätzen. Im Falle $m = 1$

würden die toten Widerstände mit Verdoppelung des Luftdrucks sich verdoppeln. Sie machen die Hälfte der in Richtung der Flugbahn fallenden Kräfte aus. Der Widerstand der Tragflächen würde gleich bleiben, würde auch der Rücktriebskoeffizient proportional abnehmen; da das nicht der Fall ist, wird er etwa das 1,5fache des Betrags beim horizontalen Flug. Die Widerstände in der Flugrichtung würden sich also zum ebenen Flug verhalten wie 2 : 3,5.

Würde nun der Vortrieb zum Auftrieb sich wie 1 : 5 bei horizontalem Flug verhalten, was mittleren Verhältnissen gleichkäme, so wäre unter den vorliegenden Umständen dafür ungefähr 0,35 G zu setzen. Wie aus Fig. 6 hervorgeht, entspricht dem eine Neigung der Flugbahn von 0,35 : 1, womit β ca. 19,3° wäre.

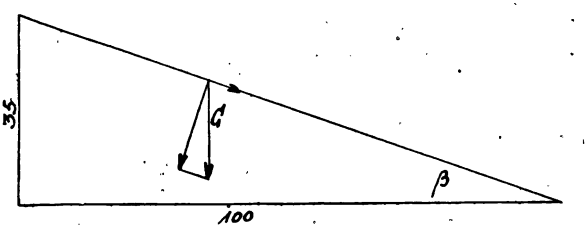


Fig. 6.

Wäre die normale Fluggeschwindigkeit der Maschine 28 m/sec, so wäre ihre Gleitfluggeschwindigkeit in diesem Fall $28 \cdot \sqrt{2} = 40$ m/sec und die Vertikalgeschwindigkeit 14 m/sec. Die Maschine würde demnach in einer Minute aus 840 m niederkommen.

Wäre $m = 3$, so ergäbe sich für den Rücktrieb eine Vergrösserung von 4 auf 6,5 oder von 2 auf 3,25; man erhielte demnach für den Rücktrieb 0,325 G und für β einen Winkel von 18°, die Vertikalgeschwindigkeit wäre dann 13 m/sec und die Fallhöhe pro Minute 780 m.

Man sieht, dass man mit solchen Annahmen schon ganz aussergewöhnliche Verhältnisse vor sich hat, und dass die Annahme einer Vervierfachung der Kräfte senkrecht zur Flugbahn

dàmit eine ziemlich sichere Annahme darstellt[1]). Man kann dann nach dieser Festsetzung auch noch weiterhin schätzen, eine wie starke Abbiegung der Flugbahn unter diesen Umständen im ersten Moment eintreten wird. Die senkrechte Belastung setzt sich zusammen aus Gewicht und Zentrifugalkraft, so dass im ersten Moment

$$\frac{G\,v^2}{g\,r} + G = 4\,G \qquad 14)$$

ist oder mit $g = \sim 10$

$$v_g^2 = 30\,r,$$

wobei v_g die Gleitgeschwindigkeit wäre. Das vorige Beispiel würde ergeben $r = 53$ m.

Ist zum Schluss der gekrümmten Bahn noch eine Fluggeschwindigkeit von ca. 35 m/sec vorhanden, so sind also die Luftkräfte nach dem vorher Vorausgesetzten noch halb so gross, entsprechend der Abnahme von v_g auf v, sodass in Gleichung 14 an Stelle von 4 G nur noch ca. 3 G zu setzen wäre, womit

$$v^2 = 20\,r$$

wäre; es wäre nach den Annahmen für v 35 m/sec zu setzen, womit sich für r ergeben würde 78,5 m. Daraus folgt, dass unter diesen Umständen die Flugbahn keine Kreisbahn sein könnte, sondern eine Bahn mit flacher werdender Krümmung[2]). Die mittlere Krümmung entspräche demnach der einer Kreisbahn von 60 m Radius.

In gleich angenähertem Überschlag liesse sich auch feststellen, ob man am Ende der Flugbahn noch mit $v = 35$ m/sec hätte rechnen können. Die Flugbahn hat bei Annahme eines mittleren Radius von 66 m und eines Gleitwinkels von 19,3° eine Länge von $\frac{2\pi \cdot 60 \cdot 19{,}3}{360} = 19{,}5$ m. Wird die Tragfläche so aufgerichtet, dass zu Anfang der Krümmung die Kräfte senkrecht zur Flugbahn 4 G betragen, so vergrössert sich der Trag-

[1]) Ungünstiger können die Verhältnisse in solchen Fällen werden, wo sehr kleine Tragflächenanstellwinkel bei normalem Flug angewendet werden.

[2]) Hätte man zu Beginn der gekrümmten Bahn die Tragflächen nicht soweit aufgerichtet, dass die Vertikalkräfte 4 G betragen hätten, womit r zu Anfang etwas grösser geworden wäre, so hätte man durch zweckmässige Steuerung erreichen können, dass r konstant geblieben wäre.

flächenwiderstand, wie aus der Betrachtung der Kurven für die Rücktriebskoeffizienten hervorgeht, ungefähr auf das Dreifache, während im ersten Moment die Grösse der toten Widerstände bestehen bleibt. Gegenüber dem horizontalen Flug verhalten sich demnach die Widerstände wie 6,5 : 2, sie entsprechen also 0,65 G. Bleibt die Tragfläche in dieser Stellung, so sind die Luftkräfte am Ende der Flugbahn noch $^3/_4$ so gross, weil die Geschwindigkeit auf 35 m/sec abgenommen hat. Der mittlere Widerstand würde also ungefähr 0,57 G betragen und er würde auf einer Strecke von 19,5 m wirken. Dem entspräche eine Arbeit von 11,2 G mkg. Dabei ist das Flugzeug aus einer Höhe von $60 \cdot (1 - \cos 19{,}3) = 3{,}0$ m herabgekommen und hat in seiner Geschwindigkeit von 40 auf 35 m/sec abgenommen. Beiden zusammen entspricht eine Arbeit von

$$\frac{G}{2g}(40^2 - 35^2) + 3{,}0\,G = 23\,G.$$

Daraus geht hervor, dass mehr Arbeit zur Verfügung stand, als aufgezehrt wurde, d. h. dass unsere Annahme, die Fluggeschwindigkeit betrage am Ende der Bahn 35 m/sec, zu niedrig gegriffen war, sie wird tatsächlich noch grösser sein. Der Gleitwinkel wäre demnach unnötig steil.

Wäre $m = 3$ gewesen, so hätte man erhalten: die Widerstände verhalten sich zu Beginn der krummen Bahn wie 15,5 : 4 gegenüber horizontalem Flug; sie betragen also 0,775 G und nehmen ab auf 0,58 G, betragen demnach im Mittel ca. 0,68 G. Die Widerstandsarbeit beträgt 13,0 G mkg gegenüber 11,2 G für $m = 1$.

Man könnte die vorstehende Rechnung natürlich auch genauer ausführen an Hand der Angaben über die Auftriebs- und Rücktriebskoeffizienten, und indem man kleinere Teile der Flugbahn Stück für Stück rechnet. Die vorstehende Rechnung sollte in der Hauptsache nur zeigen, dass in normalen Fällen eine Belastung der Tragflächen mit 4 G sehr reichlich ist, und weit jenseits dessen liegt, was die Bedingungen einer guten Landung im Gleitflug fordern.

H. Die Steuerungen.

Allgemeines.

Die Wirkung der Steuerungen besteht darin, dass mit Hilfe der Steuer der Maschine eine Drehung um eine der Hauptachsen der Maschine erteilt wird. Diese Achsen, die nur gedachte, gerade Linien sind, gehen durch den Schwerpunkt der Maschine. Die erste Achse, die Längsachse, fällt in die Flugrichtung, während die beiden andern senkrecht auf ihr stehen. Dabei liegt die eine der beiden anderen Achsen, die Querachse, horizontal, während die dritte Achse, die Vertikalachse, bei horizontalem Flug senkrecht zum Erdboden steht. Es fällt also die erste Achse in die Längsrichtung der Maschine und die zweite in die Richtung der Tragflächen, die dritte steht auf diesen beiden senkrecht; bei krummer Flugbahn liegt im allgemeinen die erste Achse tangential, die beiden andern normal zur Flugbahn. Da die Drehungen, die die Maschine unter Einwirkung der Steuer ausführt, um diese Achsen stattfinden, diese Achsen aber durch den Schwerpunkt der Maschine gehen, so treten sämtliche Drehungen um den Schwerpunkt der Maschine ein. Entsprechend diesen 3 Hauptachsen können alle Drehungen, die das Flugzeug ausführt, in Drehbewegungen um diese 3 Hauptachsen zerlegt werden. Um diese Drehbewegungen willkürlich ausführen zu können, sind Steuervorrichtungen nötig und zwar für jede der Achsen eine Steuervorrichtung.

Jeder Körper setzt einer ihm aufgezwungenen Drehbewegung einen, durch die dabei zu beschleunigenden Massen bedingten Widerstand entgegen. Je grösser dieser Widerstand, d. h. an je grösseren Hebelarmen die einzelnen Massen wirken, je grösser also das Trägheitsmoment des Körpers ist, ein um so grösseres Drehmoment ist zu äussern, um die Drehung in einer bestimmten Zeit herbeizuführen. Das Drehmoment muss aber auch um so grösser sein, je rascher die Drehung erfolgen soll, je grösser also die Drehbeschleunigung ist. Ist i die Drehbeschleunigung, M das aufgewendete Drehmoment und I das

Trägheitsmoment des Körpers, bezogen auf die Drehachse, so ist:

$$i\,I = M. \qquad 1)$$

Das erforderliche Drehmoment kann im allgemeinen nur dadurch erzeugt werden, dass eine Kraft an einem, auf der Drehachse senkrecht stehenden Hebelarm, der selbst womöglich durch den Schwerpunkt des zu drehenden Körpers geht, also mit einer der Hauptachsen zusammenfällt, angreift. Kräfte, die in einer gewissen Entfernung vom Schwerpunkt an der Maschinenlängsachse angreifen, können also, je nachdem sie in der Hauptsache vertikal oder horizontal gerichtet sind, Drehungen um die Querachse oder um die Vertikalachse der Maschine bewirken. Kräfte, die eine Drehung um die Längsachse der Maschine bewirken sollen, müssten entweder an der Vertikalachse oder an der Querachse angreifen, wie überhaupt für jedes der Steuer zwei Lagen möglich wären, eine Drehung um die Querachse z. B. auch durch eine, an der Vertikalachse angreifenden Kraft bewirkt werden könnte usf. Da man nun aus naheliegenden Gründen bestrebt ist, die Maschine zur Längsrichtung möglichst symmetrisch zu gestalten, so wird man die Steuer für Drehungen um die Maschinenlängsachse symmetrisch rechts und links an der Querachse anbringen, während man die übrigen Steuer an die Maschinenlängsachse legt. Die Steuer selbst bestehen aus Flächen, die unter einem grösseren oder kleineren Winkel gegen die Bewegungsrichtung gestellt werden können, so dass auf sie der Luftdruck mehr oder weniger stark wirkt. Ist l der Hebelarm, an dem die Luftkraft angreift, und F die Grösse der Steuerfläche, K der Luftwiderstandskoeffizient, v die Fluggeschwindigkeit, so ergibt sich ein Drehmoment (vergl. Figur 7)

$$M = F\,\frac{\gamma}{g}\,K\,.\,v^2\,.\,l\cos\beta \qquad 2)$$

Zusammen mit Gleichung 1 erhält man somit:

$$i\,I = F\,\frac{\gamma}{g}\,K\,v^2\,l\cos\beta, \qquad 3)$$

wobei allerdings nach früherem K von sin β abhängig wäre.

Für die Bewertung eines Steuers in Verbindung mit einem Flugzeug kann man von dem Gesichtspunkt ausgehen, dass

Steuer gleichwertig sind, die bei gleichem Ausschlag β die gleiche Winkelbeschleunigung i erzeugen, d. h. also, ein Steuer ist um so wirksamer, je grösser der Ausdruck

$$St = \frac{F \cdot K_{90} \cdot v^2 l}{I} \qquad 4)$$

ist, worin K_{90} den Koeffizienten K für 90° Ausschlag bedeutet.

Soll eine Steuervorrichtung nicht zu träge wirken und damit unbrauchbar sein, so darf St nicht zu klein sein.

Da bei der Drehung alle Teile der Maschine gewisse Wege auf Kreisbahnen, die zum Schwerpunkt konzentrisch liegen, beschreiben, so müssen von den Steuerkräften tatsächlich ausser

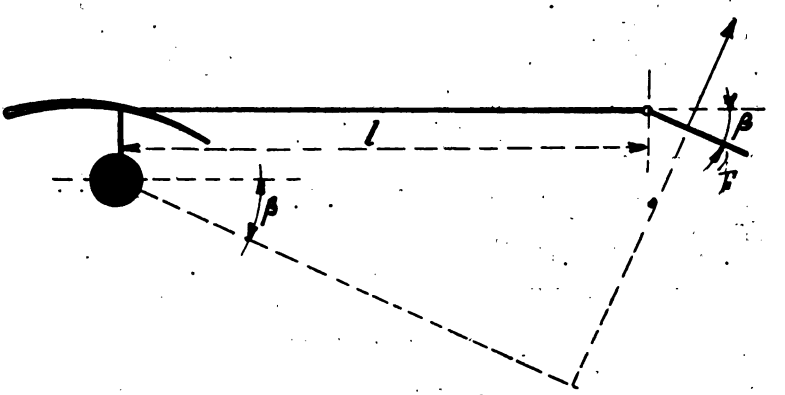


Fig. 7.

den Massenkräften noch Bewegungswiderstände überwunden werden, die mit der Drehgeschwindigkeit wachsen.

Die Steuerwirkung wächst bis zu einem gewissen Punkt mit der Grösse des Steuerausschlags und nimmt dann, da cos β kleiner und kleiner wird, wieder ab. K wächst für ebene Flächen bis zu einem Ausschlag von 30° und bleibt dann mehr oder weniger konstant. Kl cos β wird demnach nicht ständig mit dem Ausschlag wachsen, sondern bei ungefähr 30° einen Grösstwert erreichen. Für gekrümmte Flächen liegt je nach der Stärke der Krümmung dieser Wert zwischen 15° und 30°. Ein Ausschlag der Steuer über diese Winkel hinaus ist also zwecklos und kann nur hemmend wirken. Würde K bis zu 90°

ständig zunehmen, so ergäbe sich für den maximalen Ausschlag 45°.

Im Folgenden sollen die verschiedenen Steuer bezüglich Wirkung und Anordnung einzeln der Reihe nach besprochen werden.

Das Höhensteuer.

Die Steuerung um die Querachse bewirkt nach dem Gesagten, dass die Spitze der Maschine sich hebt oder senkt. Die Steuerung wird bei sonst gleichen Verhältnissen um so wirksamer sein, je geringer das Trägheitsmoment der Maschine um die Querachse ist. Die Grösse des Trägheitsmoments ist einmal von den Abmessungen des Flugzeugs selbst abhängig, sodann von der Verteilung der übrigen Massen, im Besonderen des Motors und Führergewichts gegenüber dem Schwerpunkt. Die Tragflächengestalt und Ausladung ist von geringem Einfluss auf das Trägheitsmoment bezogen auf die Querachse, wohl aber die Längenausdehnung der Maschine, d. h. also in erster Linie die Länge des Schwanzes, ferner die Höhe des Untergestells und der Abstand der Tragflächen vom Schwerpunkt. Je weiter alle diese einzelnen Teile vom Schwerpunkt abliegen, um so grösser wird das Trägheitsmoment werden. Nun kann das Steuer für die Querachse, das in der Regel Höhensteuer genannt wird, vor dem Schwerpunkt oder hinter dem Schwerpunkt liegen. Es ergibt sich daraus ein prinzipieller Unterschied in der Wirkungsweise. Liegt das Höhensteuer vor dem Schwerpunkt, also vorn an der Maschine, so muss es, soll die Spitze der Maschine in die Höhe gehen, mit seiner Vorderkante nach oben bewegt werden. Es entstehen dann auf der Steuerfläche Luftkräfte, die von unten nach oben gerichtet sind, also die Tragwirkung der Maschine verstärken. Dabei wird die Spitze der Maschine gehoben, die Stellung der Steuerfläche gegenüber der Fahrrichtung wird infolgedessen bei eintretender Drehung der Maschine um die Querachse steiler und steiler. Die Steuerwirkung der Maschine verstärkt sich also ständig. Besitzt die Maschine eine Schwanzfläche, so wird diese gleichfalls bei der Drehung sich mehr und mehr schräg gegen den Wind stellen, wodurch ein

Moment entsteht, das dem Moment der Steuerfläche entgegenwirkt, bis eine Stellung erreicht ist, in der beide Momente sich das Gleichgewicht halten, die Drehung also zum Stillstand kommt. In der Tat wirken auch noch andere Kräfte statisch mit zunehmender Drehung den Steuerkräften entgegen, oder unterstützen sie je nach den Verhältnissen auch. Ist nämlich das Flugzeug bei normalem Flug und normalem Anstellwinkel im Gleichgewicht, so wird das bei geändertem Anstellwinkel infolge der Wanderung des Druckmittelpunkts und der geänderten Lage des Schwerpunkts gegenüber dem Druckmittelpunkt nicht mehr der Fall sein. Dazu kommt zu den Kräften des horizontalen Flugs andererseits die Kraft der Steuerfläche hinzu[1]). Das Wesentliche im vorliegenden Fall ist, dass Steuerfläche und Schwanzfläche sich entgegenwirken. Man wird also einerseits in Rücksicht auf die Schwanzfläche grosse Steuerflächen nötig haben und andererseits, soll die Schwanzfläche die beabsichtigten, noch zu besprechenden Funktionen ausüben, grosse Schwanzflächen in Rücksicht auf die vorn sitzende Steuerfläche anordnen müssen. Etwas anderes ist es, wenn die stabilisierende Schwanzfläche, was, wie noch gezeigt werden wird, möglich ist, gleichfalls vor der Maschine angeordnet ist.

Besitzt eine Maschine gar keine horizontalen Schwanzflächen und sitzt das Höhensteuer vorn, wie das bei der alten Wrightmaschine der Fall war, so kann das Höhensteuer überhaupt nur ruckweise betätigt werden und muss dann sofort wieder zurückgelegt werden, weil andernfalls die Wirkung der Steuerflächen sich ständig verstärkt, ohne dass dem eine Schwanzfläche entgegenwirken würde. Als dann gleichfalls an der alten Wrightmaschine hinter dem Schwerpunkt eine Stabilisierungsfläche angefügt wurde, war ihr Abstand vom Schwerpunkt zu kurz, als dass sie gegen die Wirkung der vorderen Steuerflächen hätte

[1]) Man kann diese Verhältnisse weiter untersuchen und von der Forderung ausgehen, dass mit Hilfe des Höhensteuers die Maschine in einer bestimmten geforderten Schräglage gehalten werden kann, woraus sich eine erforderliche Grösse des vom Höhensteuer geäusserten Moment ergibt. Diese Fragen betreffen aber die Stabilität der Maschine und werden später behandelt.

aufkommen können, infolgedessen konnte sie nur dämpfend, nicht aber stabilisierend wirken; das ist nur angeführt, um den gegenseitigen Einfluss von Schwanz- und Steuerflächen zu erläutern.

Liegt das Höhensteuer hinter dem Schwerpunkt, so muss, damit die Spitze der Maschine sich hebt, die Vorderkante der Steuerfläche nach unten bewegt werden. Die Luftkräfte wirken dann von oben nach unten, also der Tragwirkung der Maschine entgegen. Beim Aufrichten der Maschine wird der Anstellwinkel der Steuerfläche kleiner, bis ein Gleichgewichtszustand eingetreten ist. Auch hierbei wirkt die Schwanzfläche der Steuerfläche entgegen, wenn nicht die Steuerfläche selbst gleichzeitig Schwanzfläche ist.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass es nicht zweckmässig ist, Stabilisierungsfläche und Steuerfläche an verschiedenen Enden der Maschine anzubringen. Es ist vielmehr vorzuziehen, beide entweder vor oder beide hinter der Maschine anzuordnen. Ordnet man sie vor der Maschine an, so unterstützt sie im richtigen Moment die Hubwirkung der Maschine, während sie ihr hinten entgegenwirkt. Vor der Maschine hat sie ausserdem der Führer vor Augen und unter Kontrolle, sie dient ausserdem zur Orientierung, indem sie die Lage der Maschine gegenüber dem Horizont erkennen lässt. Sie ist aber bei der Landung im Weg. Es kommt ein weiterer Nachteil hinzu, der darin liegt, dass sie sich vorn aus später zu besprechenden Gründen nicht gut mit der Stabilisierungsfläche zu einer einzigen Fläche kombinieren lässt und vorn liegende Stabilisierungsflächen grössere Widerstände geben als hinten liegende, weil sie steiler stehen müssen. Alle diese Gründe wirken dahin zusammen, dass man mehr und mehr dazu übergeht, die Stabilisierungs- und Steuerflächen hinter dem Schwerpunkt liegend, zu kombinieren.

Das Seitensteuer.

Die Steuerung um die Vertikalachse, in der Regel Seitensteuer oder Kurssteuer genannt, kann im Prinzip gleichfalls vor oder hinter dem Schwerpunkt angeordnet werden und es gelten dieselben Tatsachen, die für das Höhensteuer festgestellt wurden.

Auch in diesem Fall wird ein vor dem Schwerpunkt angebrachtes Steuer bei der Drehung seine Wirkung ständig verstärken, während es, hinter dem Schwerpunkt angebracht, in der Wirkung bei der Drehung schwächer wird. Sind ausser dem Steuer noch andere senkrechte Flächen vorhanden, so gilt ganz ähnliches, wie für das Höhensteuer auseinandergesetzt wurde. Liegt der Schwerpunkt der übrigen senkrechten Flächen vor dem Schwerpunkt der Maschine, während das Seitensteuer hinter dem Schwerpunkt liegt, so werden bei einer Drehung in dem Mass, wie die Wirkung des Seitensteuers nachlässt, diese Flächen, die dann schräger zur Bewegungsrichtung liegen, an Wirksamkeit zunehmen und eine Drehung im gleichen Sinn begünstigen. Ein Gleichgewichtszustand wird dann erst eintreten, wenn die Drehung der Maschine um einen grösseren Winkel erfolgt ist, als der Ausschlagwinkel des Seitensteuers ist. Die Folge ist, dass dann die entgegengesetzte Seite des Steuers Druck bekommt, also ein Moment von dem Seitensteuer ausgeübt wird, das dem ursprünglich von ihm ausgeübten entgegengerichtet ist. Dieses Moment setzt sich dann mit dem Moment ins Gleichgewicht, das von den vorderen senkrechten Flächen ausgeübt wird, wie das die Figur veranschaulicht. Sinngemäss ganz dasselbe gilt, wenn das Seitensteuer vor dem Schwerpunkt liegt und andere senkrechte Flächen hinter dem Schwerpunkt[1]).

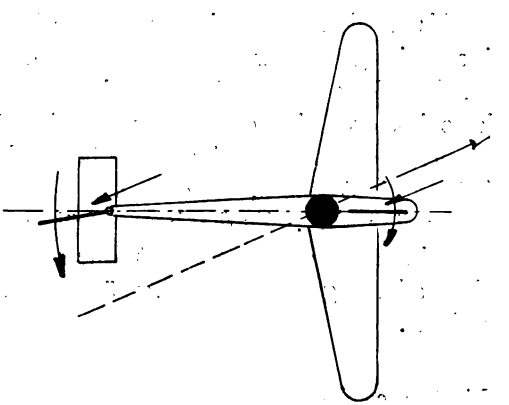


Fig. 8.

[1]) Die Anbringung vertikaler Flächen vor dem Schwerpunkt kann demnach die Wirkung des Seitensteuers unterstützen, wie noch weiterhin unter „Flug in der Kurve" dargetan wird. Sie bedingt ausserdem u. A. günstige Verhältnisse für die seitliche Stabilität der Maschine. Die Gebrüder

Tritt infolge der Betätigung des Seitensteuers eine Drehung der Maschine um ihre senkrechte Achse ein, so wird dabei die eine Tragfläche in der Bewegungsrichtung voreilen, die andere zurückbleiben. Demzufolge wird die Geschwindigkeit der einen Seite gegenüber der Luft grösser sein als die Geschwindigkeit der anderen Seite. Demzufolge müssen auch die Auftriebe auf der einen Seite grösser werden als auf der andern, die bei der Drehung aussen liegende Seite der Maschine wird sich also heben, die innen liegende senken. Man kann so, wenn auch in etwas primitiver Art, durch die Seitensteuerung die Quersteuerung ersetzen [1]).

Es werden dann aber auch die Flugwiderstände auf der einen Seite grösser werden als auf der anderen Seite, es ist also von dem Seitensteuer ein Drehwiderstand zu überwinden. Die Folge ist, dass sich die vorher geschilderten Momente zwischen Seitensteuer und sonstigen Vertikalflächen schon früher ins Gleichgewicht setzen, als ohne Berücksichtigung dieser Tatsache zu erwarten wäre. Zu den beiden früher geschilderten Momenten tritt ein neues drittes Moment hinzu und dieses dritte Moment wird allerdings erst bei verhältnismässig scharfer Drehung merkbar.

Wright haben diese Tatsache früh erkannt, und so finden wir bei allen ihren Maschinen vertikale Flächen vor dem Schwerpunkt angeordnet. Der Zweck dieser Flächen wird von den Wenigsten aber erkannt und gewürdigt. Wer eine Wrightmaschine und eine Maschine vom Typ Farman seitlich abrutschen sah, wird sofort den Vorteil der Wrightanordnung erkennen, bei der während des Abrutschens kaum eine Drehung um die Vertikalachse, wie bei Farman, eintritt. Gerade diese Drehung aber macht in der Regel den Sturz so gefährlich.

[1]) Umgekehrt kann man an den Tragflächenenden einstellbare Flächen anbringen, die einen grösseren oder kleineren Widerstand je nach ihrer Einstellung abgeben und, sie als Seitensteuer benutzen und wiederum gleichzeitig als Quersteuer in gleich primitiver Weise wie oben beschrieben. Diese Anordnung ist zwar originell, bietet aber mehr Nachteile als Vorteile, da mit ihr verhältnismässig grosse Bewegungswiderstände verbunden sind.

Die Verwindung.

Die Steuerung um die Längsachse der Maschine, die Quersteuerung oder „Verwindung“ wird, wie schon gesagt, in der Regel an den Tragflächen rechts und links symmetrisch angebracht. Während die vorher besprochenen Steuer, was Form und Aufbau anlangt, bei den verschiedenen Maschinengattungen und Konstruktionen nicht bedeutend voneinander abweichen, findet man in der Quersteuerung eine ausserordentliche Mannigfaltigkeit. Bald wird die Tragfläche selbst zur Steuerung benützt, indem man sie verwindet, d. h. sie in sich windschief verdreht, so dass der Einfallwinkel auf der einen Seite grösser, auf der anderen kleiner wird, bald sind kleine Flügel an die Tragflächenenden angesetzt, die um Achsen gedreht werden können derart, dass, wenn der eine steiler gegen den Wind steht, der andere um so flacher gestellt wird. Auch Klappen werden angewendet, die an die Hinterkante der Tragflächen an ihren beiden Enden angehängt werden und mehr oder weniger steil gegen den Wind gestellt werden können.

Immer wird dadurch erreicht, dass die eine Tragflächenseite einen grösseren Auftrieb bekommt als die andere Seite, so dass dadurch ein Moment um die Längsachse entsteht. Aber es werden dadurch auch die Bewegungswiderstände auf der einen Seite grösser als auf der andern, es entsteht also gleichzeitig ein Moment um die Vertikalachse der Maschine. Überwiegt dieses zweite Moment über das erste, so wird eine Drehung der Maschine um ihre Vertikalachse eintreten, erfolgt diese zweite Drehung rascher als die erste, so wird die Quersteuerung nicht wirksam sein. Das wird natürlich ausser von der Grösse der beiden Momente abhängen von der Grösse der Trägheitsmomente in bezug auf die eine oder andere Achse. Soll dieses zweite, störende Moment beseitigt werden, so muss durch die Seitensteuerung ein ihm entgegenwirkendes Moment erzeugt werden. Nun ist meistens das Trägheitsmoment der Maschine um die Vertikalachse viel grösser als um die Längsachse. Die störende Drehung wird sich also viel langsamer ausbilden als die beabsichtigte. Wenn man demnach die Quersteuerung für

kurze Zeit ruckweise betätigt, wird man ohne Zuhilfenahme des Seitensteuers auskommen können, denn in dieser kurzen Zeit wird die Maschine zwar ruckartig eine Drehbewegung um ihre Längsachse ausführen, die Drehbewegung um die Vertikalachse wird aber nicht so schnell in Erscheinung treten können. Man sieht, welche Beachtung auch im Hinblick auf die Steuerwirkung der Verteilung der Massen, von der ja die Trägheitsmomente abhängen, zu schenken ist.

Diesen Übelstand zu vermeiden, erlauben verschiedene Anordnungen. Naheliegend ist es, die Quersteuerung nicht an den Tragflächenenden, sondern senkrecht über oder unter dem Schwerpunkt anzuordnen. Doch entsteht dadurch ein unbequemer Aufbau, wenn die Steuerung wirksam sein soll, es sind deshalb bis heute in dieser Art nur Hilfs- und Regulierflächen angeordnet worden. — Man kann aber auch die Wirkung der Quersteuerung umkehren, indem man durch sie auf der angehobenen Seit nach unten wirkende Kräfte erzeugt, dann unterstützt das zweite gleichzeitig auftretende Moment das erste. In dieser Art wirken die aufgebogenen Flügelenden des Taubentyps. Man nimmt dabei aber den abwärts gerichteten Druck auf die Flügelspitzen in Kauf. Die Wirkung der Klappen, die an die Hinterkante der Tragflächen angehängt sind, wird man aber nicht ohne Weiteres etwa in dieser Weise umkehren können, dass man diese Klappen, anstatt sie auf der gesenkten Seite nach unten zu drücken, um hier den Auftrieb zu erhöhen, auf der angehobenen Seite nach oben bewegt, um diese Seite herunterzudrücken. Es wird das deshalb nicht möglich sein, weil eine besondere Ausbildung der Tragflächenform dazugehört, um die hochgezogene Klappe wirksam zu machen, denn bei der üblichen Tragflächenform würde diese hochgezogene Klappe nur in den über der Tragfläche herrschenden Luftwirbel hineinragen und gar nicht oder nur schwach wirken.

Man kann eine Quersteuerung auch in der Art bewirken, dass man um senkrechte Achsen drehbare, an den Tragflächenspitzen sitzende Hilfsflügel anordnet, und kann dabei durch geeignete Anordnung gleichfalls erreichen, dass das zweite Moment nicht auftritt. Die Wirkung der Quersteuerung beruht

dann darauf, dass der Druckmittelpunkt und geometrische Schwerpunkt der Tragfläche sich in der Querrichtung der Tragfläche nach der Seite, auf der der Hilfsflügel ausgelegt wird, während der andere eingezogen wird, verschiebt, wodurch das gewünschte aufrichtende Moment entsteht (siehe Figur 9).

Zum Teil kann die Quersteuerung durch die Seitensteuerung ersetzt werden, indem man der Maschine eine kurze Drehung

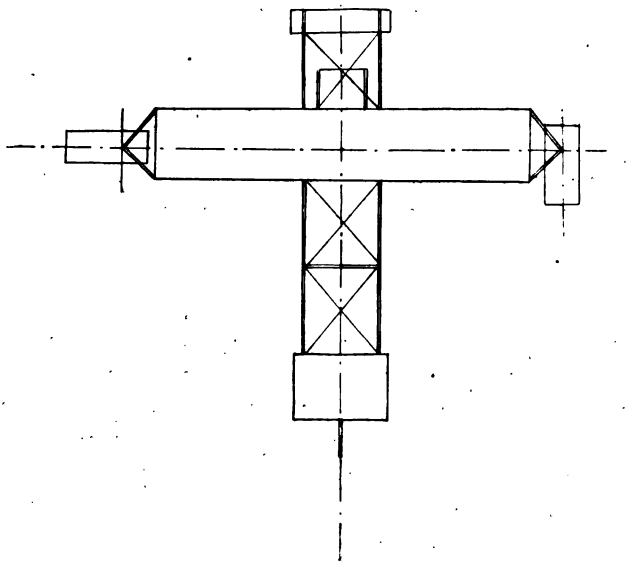


Fig. 9.

nach der Seite gibt, wo die Tragfläche höher liegt, man kommt dann aber etwas aus dem Kurs.

Im Interesse einer möglichst raschen Steuerwirkung würde es liegen, das Trägheitsmoment der Maschine in Bezug auf jede Achse so klein als möglich zu machen. Das Flugzeug würde dann auf jede Steuerbewegung ausserordentlich rasch ansprechen. Es würde aber natürlich infolge des kleinen Trägheitsmoments auch ebenso empfindlich gegen Störungen sein, die ausserhalb des Flugzeugs selbst liegen. Gemeint sind Ungleichmässigkeiten

in der Luftströmung, Böen usw. Wenn schon infolge kleiner Ungleichmässigkeiten die Maschine dementsprechend rasche Bewegungen ausführt, so ist eine sehr grosse Aufmerksamkeit des Führers nötig, wenn nicht die Möglichkeit bestehen soll, dass ihn eine solche Unregelmässigkeit überrascht und unvorbereitet findet. Auf der andern Seite allerdings sind rasche Bewegungen des Flugzeugs für den Führer leichter wahrnehmbar als sehr langsame, die — aber wohl nur bei mangelnder Übung — ihm zunächst vielleicht vollständig entgehen und erst sinnfällig werden, wenn die Maschine schon eine stärkere Schräglage in irgend einer Richtung eingenommen hat. Trotzdem dürfte es zweckmässiger sein, wenn die Bewegungen der Maschine nicht zu rasch erfolgen, so dass dem Führer Zeit zum Eingreifen bleibt.

Es ist aber wohl zu beachten, dass eine willkürliche Wahl der Grösse des Trägheitsmoments nur in beschränktem Masse möglich ist.

Massenverteilung.

Die Grösse des Trägheitsmoments ist durch die Massenverteilung gegeben. In der Hauptsache liegt diese, und damit das Trägheitsmoment, durch die Formen und Konstruktionsgewichte des Flugzeugs selbst fest. Das Trägheitsmoment bezogen auf die Längsachse wird in der Hauptsache bestimmt durch das Gewicht der Tragflächen und ihre Klafterung, sowie durch die Höhe des Fahrgestells, während die übrigen Gewichte in ihrer Einwirkung mehr zurücktreten.

Für eine Maschine von ca. 300 kg Eigengewicht einschliesslich Motor beträgt bei 10 m Klafterung das Gewicht der Tragflächen rund 75 kg, der Rumpf mit Fahrgestell usw. rund 100 kg, der Motor 100 kg und die Steuerflächen und Stabilisierungsflächen am Ende des Rumpfs 25 kg.

Bezogen auf die Längsachse beträgt das Trägheitsmoment

der Tragflächen rund	60 mkg/sec²
das des Rumpfs einschliesslich Fahrgestell ca. .	5,5 „
das Trägheitsmoment der Steuerflächen	0,8 „
	ca. 66 mkg/sec²

Würden Führer und Motor nebst Benzin in der Längsachse selbst sitzen, so würde durch sie das Trägheitsmoment um ca. 4 mkg/sec² vergrössert. Man könnte nun, um das Trägheitsmoment noch mehr zu vergrössern, den Motor senkrecht unter und den Führer über der Längsachse anordnen oder umgekehrt. Würde der senkrechte Abstand beider 1,5 m betragen, was sehr viel wäre, so würde sich das Trägheitsmoment um ca. 10 mkg/sec² vergrössern, es würde also in einem Fall 70 mkg/sec², im andern Fall 76 betragen. Der Unterschied beträgt noch nicht 10 %.

Das Trägheitsmoment, bezogen auf die Vertikalachse, wird gleichfalls von den Tragflächen stark beeinflusst, ausserdem aber durch die Länge der Maschine, die im Fall des Beispiels 7,5 m ist. Das Trägheitsmoment setzt sich aus folgenden Teilen zusammen:

Tragflächen	58 mkg/sec²
Rumpf	44 „
Steuerflächen . . .	90 „
	192 mkg/sec²

Würden Motor und Führer je einen Meter vom Schwerpunkt in der Längsrichtung entfernt sein, so würde das Trägheitsmoment um ca. 20 mkg/sec zunehmen, würden beide dicht beisammen liegen, so erhielte man eine Vergrösserung um ca. 3 mkg/sec². Das Trägheitsmoment beträgt also in einem Fall ca. 195, im andern 212 mkg/sec. Auch hier ist der Unterschied nicht bedeutend und kleiner als 10 %.

Was schliesslich die Querachse anlangt, so erhält man folgende Verteilung:

Tragflächen	6 mkg/sec²
Rumpf	46 „
Steuerflächen . . .	90 „
	142 mkg/sec²

Die verschiedene Anordnung von Führer und Motor hat ungefähr den gleichen Einfluss wie zuvor, so dass man in einem Fall 145 mkg/sec², im andern 162 erhält. Der Unterschied beträgt etwas mehr als 10 %[1]).

[1]) Man hat nicht nur durch den Abstand des Motors und Führers vom Schwerpunkt, der in der Längsachse liegt, Einfluss auf die Grösse des

Von den angegebenen Zahlen weichen prinzipiell nur Maschinen aussergewöhnlicher Anordnung ab, wie z. B. die alte Wrightmaschine.

Man sieht, dass das Trägheitsmoment, bezogen auf die Längsachse weitaus das kleinste ist, das Trägheitsmoment, bezogen auf die Vertikalachse, weitaus das grösste, so dass der früher beschriebene Vorgang der ruckweisen Betätigung der Quersteuerung wohl einzusehen ist.

Man sieht aber auch, dass man nur durch sehr absonderliche Anordnung von Führersitz und Motor in der Lage sein wird, die Verhältnisse stark zu beeinflussen.

Auch hat man für die Anordnung dieser Gewichte nicht so sehr freie Hand, wie es im ersten Augenblick vielleicht scheinen könnte. Der Schwerpunkt des Flugzeugs liegt durch die Konstruktion, bei der zunächst in der Hauptsache andere Forderungen als Einhaltung einer bestimmten Schwerpunktslage zu befriedigen sind, fest; ebenso der gemeinsame oder resultierende Druckmittelpunkt sämtlicher tragenden Flächen. Man wird bestrebt sein müssen, den Gesamtschwerpunkt, dessen Lage ja durch die Anordnung von Motor und Führersitz noch beeinflusst werden kann, möglichst nahe an den Druckpunkt heranzulegen; fallen Druckmittelpunkt und Schwerpunkt nicht zusammen, so wird ein Drehmoment vorhanden sein, das die Maschine vorn aufrichtet oder senkt, je nachdem der Schwerpunkt hinter oder vor dem Druckmittelpunkt liegt. Soll die Maschine trotzdem ohne Steueraktion in der Luft gerade liegen, so muss diesem Moment ein zweites entgegenwirken, das dann nur noch durch den Schraubenzug und seine Lage gegenüber dem Druckmittelpunkt erzeugt werden kann. Da nun der Schraubenzug gegenüber dem Gesamtgewicht der Maschine klein ist, man ausserdem in der Anordnung der Schraube in vertikaler Richtung ziemlich beschränkt ist, so können auf diese Art

---

Trägheitsmoments. Ein solcher Abstand äussert sich in Bezug auf das Trägheitsmoment für Quer- und Vertikalachse auch dadurch, dass man in senkrechter Richtung beide auseinanderrückt, wodurch das Trägheitsmoment bezogen auf die Längsachse, beeinflusst wird. Diese Anordnung weisen z. B. die Gradflugzeuge auf.

nur verhältnismässig kleine Momente erzeugt werden. Umgekehrt folgt also daraus, dass der Schwerpunkt keinesfalls weit vom Druckmittelpunkt entfernt sein darf. Eine Regelung dieser verschiedenen Forderungen muss durch geeignete Lage von Führersitz und Motor erfolgen, wobei allerdings die absolute Grösse des Abstandes beider von einander nach wie vor frei wählbar ist.

Trifft man die Anordnung so, dass durch die Schraube und den Rücktrieb einerseits ein Moment erzeugt wird, dem andererseits, von Gewicht und Auftrieb herrührend, ein zweites Moment gegenübersteht, so kann man dadurch gewisse Gewichtsvorteile erreichen, denen aber auch Nachteile gegenüberstehen. Das durch die Schraube erzeugte Moment ist im allgemeinen nicht konstant, sondern wird kleiner, wenn der Motor nachlässt, während das vom Gewicht herrührende Moment davon im ersten Augenblick unbeeinflusst bleibt. Die Folge ist, dass in einem solchen Fall das vorherige Gleichgewicht gestört ist. Je nachdem der Schwerpunkt vor oder hinter dem Druckmittelpunkt liegt, wird die Spitze der Maschine beim Nachlassen der Schraubenkraft sich senken oder heben, die Maschine geht nach unten oder oben. Man kann so erreichen, dass beim Aussetzen des Motors die Maschine von selbst in den Gleitflug übergeht, oder aber, dass sie beim Nachlassen der Zugkraft sich vorn aufrichtet und bestrebt ist, den horizontalen Flug aufrecht zu erhalten. Es werden aber dann auch durch Windböen Momente auf die Maschine ausgeübt, die unter Umständen unangenehm werden können. Dabei spielt dann weiterhin der Umstand eine Rolle, ob der Schwerpunkt der Maschine über oder unter dem Druckmittelpunkt liegt. Diese Fragen sollen im Zusammenhang mit der Stabilität der Maschine untersucht werden, es möge deshalb an dieser Stelle der vorstehende kurze Hinweis genügen.

Es ist bisher von dem Gewicht des möglichen Fluggastes und des Benzins nicht gesprochen worden. Es leuchtet ein, dass diese Gewichte zur Beeinflussung der Schwerpunktslage nicht verwendet werden dürfen, denn sie stellen stark veränderliche Gewichte dar, mit denen man also nicht rechnen kann. Man ordnet sie deshalb in der Regel im Schwerpunkt an. Hat

man den Fall vor sich, dass man mit einem von der Schraube geäusserten Moment gegenüber dem Druckmittelpunkt einerseits, und einem Moment, herrührend von Gewicht und Auftrieb andererseits, rechnet, so kann man auch innerhalb gewisser Grenzen erreichen, dass die Maschine bei Abnahme oder Zunahme des veränderlichen Gewichts jeweils den Anstellwinkel der Tragflächen um einen solchen Betrag ändert, dass der Flug in jedem Fall horizontal verläuft.

Auf alle diese Vorgänge hat natürlich die Wanderung des Druckmittelpunkts der Tragflächen einen wohl zu beachtenden Einfluss, der aber eine rechnerische Behandlung erschwert, und es bleibt nur eine punktweise graphische Untersuchung möglich, wenn die Resultate nicht sehr problematisch bleiben sollen.

Die Steuerung um die Querachse wird nicht nur von der Schnelligkeit, mit der die Drehung der Maschine erfolgt, abhängen, sondern auch von dem grösseren oder geringeren Einfluss, den die Drehung um einen bestimmten Winkel auf Auftrieb und Rücktrieb hat.

Da der Auftrieb im Grossen und Ganzen, wie bekannt, proportional dem Winkel $\sigma_0 + \delta$ ist und die Maschine im ersten Moment der Steuerbetätigung ihre alte Geschwindigkeit hat, so wird der Auftrieb der Maschine bei Drehung derselben um einen bestimmten Winkel um so mehr zu- oder abnehmen, je kleiner $\sigma_0 + \delta$ ist. Bis zu einem gewissen Grad ist das günstig, darüber hinaus wird man aber erkennen, dass die Maschine gegenüber Lagenänderungen (die ja auch durch Böen, auf- oder absteigende Winde usw. hervorgerufen werden können) zu empfindlich wird. Nun wird andererseits die Geschwindigkeit der Maschine bei kleinem Anstellwinkel, wenn nur genügend Schraubenzug vorhanden ist, grösser. Man könnte deshalb daran denken, die Geschwindigkeit der Maschine durch Verkleinerung des Anstellwinkels zu erhöhen. Nach dem Gesagten wird man aber bald an eine Grenze kommen, weil die Empfindlichkeit der Maschine zu gross wird. Man muss in Rücksicht darauf für schnelle Maschinen solche Profile wählen, deren spezifischer Auftrieb klein ist, so dass trotz nicht allzu kleinen Anstellwinkels grosse Geschwindigkeiten zur Hebung der Gewichte nötig sind, oder

aber man ändert nicht den Anstellwinkel, sondern die Tragflächengrösse. Damit sind aber wieder andere Nachteile verbunden, die an anderer Stelle schon erörtert sind.

Der Flug in der Kurve.

Durch die Steuer wird also eine Drehung der Maschine um ihren Schwerpunkt bewirkt. Im Zusammenhang mit den Abschnitten über die schrägen Flugbahnen ist damit die weitere Wirkungsweise des Höhensteuers ohne weiteres klar.

Auch die Wirkung der Quersteuerung bedarf keiner weiteren Erläuterung, sofern diese Steuerung nur betätigt wird, um die Maschine, wenn sie durch äussere Einflüsse aus der richtigen Lage gekommen ist, in diese zurückzuführen.

Wohl aber muss die Wirkung des Seitensteuers noch näher beleuchtet werden. Das Seitensteuer bewirkt, wie schon mehrfach gesagt, eine Drehung der Maschine, dabei bleibt natürlich die Bewegungsrichtung der Maschine die alte. Hat die Maschine sich soweit gedreht, dass die Fläche des Seitensteuers, das hinten liegt, in die ursprüngliche Bewegungsrichtung fällt, so übt es kein Drehmoment mehr aus, vorausgesetzt, dass keine anderen senkrechten Flächen vorhanden sind. Der Schraubenzug wird dann schräg zur Bewegungsrichtung liegen. Tatsächlich wird dieser Zustand, dass die Drehung aufhört, schon etwas früher eintreten, da immer seitliche Bewegungswiderstände auftreten werden, auch wenn keine anderen senkrechten Flächen vorhanden, wobei aber zunächst angenommen werde, dass diese Widerstände hinter dem Schwerpunkt liegen.

Ist der Winkel zwischen der Bewegungsrichtung und dem Schraubenzug α, s. Fig. 10, so wirkt in der Bewegungsrichtung die Komponente des Schraubenzugs $Z_o \cos \alpha$, wobei angenommen werde, dass sie noch ausreiche, den Flug, wenn auch mit verminderter Geschwindigkeit, aufrecht zu erhalten. Senkrecht zur Bewegungsrichtung, wirkt die komponente $Z_o \sin \alpha$ und erzeugt eine Beschleunigung des Flugzeugs senkrecht zur bisherigen Bewegungsrichtung d. h. also, die gerade Flugbahn wird zu einer krummen und $Z_o \sin \alpha$ entspricht der Zentrifugalkraft und es ergibt sich als Krümmungsradius der Flugbahn

$$r = \frac{G}{g} \frac{v^2}{Z_0 \sin \alpha}. \qquad 1)$$

Da α nur sehr klein sein kann, wenn $Z_0 \cos \alpha$ zur Aufrechterhaltung des Flugs ausreichen soll, so wird r notwendig sehr gross, d. h. es können nur sehr flache Kurven auf diese Art gefahren werden, je mehr dabei v abnehmeu kann, um so enger wird die Kurve.

Besser werden die Verhältnisse, wenn zwar das Seitensteuer hinten liegt, aber andere senkrechte Flächen vor dem Schwer-

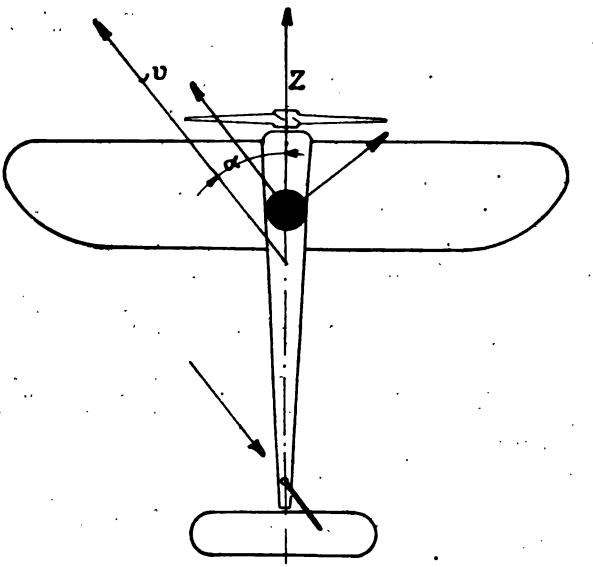


Fig. 10.

punkt liegen. Es wird dann unter dem Einfluss der vorderen und hinteren senkrechten Flächen, Fig. 11, eine Drehung um einen Winkel ausgeführt, der grösser ist als der Ausschlag des Seitensteuers, so dass das Seitensteuer von der entgegengesetzten Seite wie bei Beginn der Drehung Druck bekommt, und die Momente $P_2 \cdot l_2$ und $P_1 l_1$ ins Gleichgewicht kommen. Ist die Drehung wiederum um einen Winkel α erfolgt, so wirken senkrecht zur Flugbahn $Z_0 \sin \alpha$ ferner $P_1 \sin \alpha$ und $P_2 \cos \beta \sin \alpha$, wenn β der Ausschlag des

Seitensteuers ist, so dass

$$r = \frac{G}{g} \frac{v^2}{(Z_o + P_1) \sin \alpha + P_2 \sin \alpha \cos \beta} \quad 2)$$

wird, d. h. also jedenfalls grösser als im vorigen Fall. Durch die Schrägstellung des Seitensteuers wird der Bewegungswiderstand natürlich etwas vergrössert. Deshalb wird man aber auch auf diesem Weg keine kleinen Krümmungsradien erreichen können, denn der Grösse der Werte P proportional werden sich die Fahrwiderstände vergrössern.

Liegt das Seitensteuer vorn und sind senkrechte Flächen noch hinter dem Schwerpunkt vorhanden, so erhält man eine ganz gleichartige Wirkungsweise.

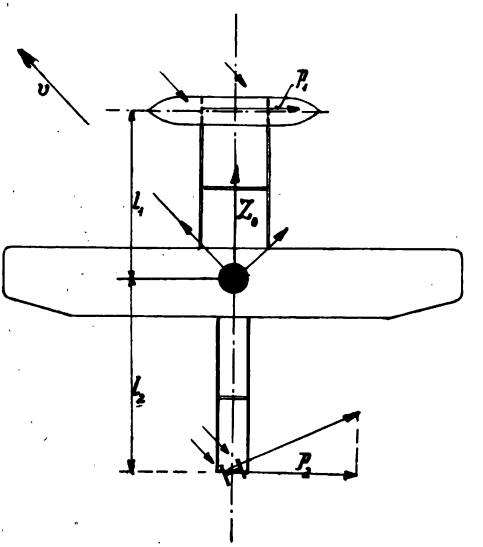


Fig. 11.

Es war schon früher gesagt, dass bei Betätigung des Seitensteuers auch ein Moment um die Längsachse auftritt. Besitzt eine Maschine, wie z. B. die alte Voisinmaschine, keine Quersteuerung, so kann ein solches Moment unter Umständen gefährlich werden. Je schärfer die Krümmung ist, in der man steuert, um so stärker wird dieses Moment auftreten, während es bei sehr flacher Krümmung kaum oder praktisch auch unter Umständen gar nicht in Erscheinung treten wird. Man kann sich in diesem Fall, wie das früher auch von einzelnen Voisinfliegern geschah, dadurch helfen, dass man das Seitensteuer in ähnlicher Weise, wie das vom Quersteuer schon gesagt wurde, ruckweise betätigt, also der Maschine nur eine momentane Drehung gibt. Der Schraubenzug wirkt dann schräg zur Bewegungsrichtung und

beschleunigt die Maschine seitwärts, bis ihre Bewegungsrichtung wieder in die Richtung des Schraubenzugs fällt. Hierauf wird das Seitensteuer von neuem ruckweise betätigt, so dass die Bewegung der Maschine Figur 12 entspricht. In allen diesen Fällen ist die Bewegung der Maschine dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegungsrichtung nicht in die Maschinenlängsachse fällt, die Maschine also abtreibt. Je mehr man bei möglichst kleiner Geschwindigkeit hierbei die Maschine fallen lässt (Steuerung in nicht natürlichem Sinn), um so enger wird dabei die Kurve, weil Z_o wächst. Man muss dann mit der Gefahr eines Abrutschens nach hinten rechnen. Steuert man in natürlichem Sinn abwärts, so tritt, da Zähler und Nenner gleich stark wachsen, keine Verbesserung ein.

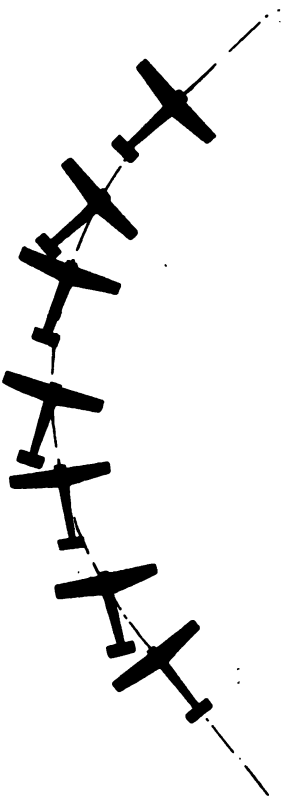


Fig. 12.

Scheut man das zweite bei der Betätigung des Seitensteuers auftretende Moment um die Längsachse nicht und wirkt ihm auch nicht durch die Quersteuerung entgegen, so erhält man um Vieles günstigere Verhältnisse. Es wird sich dann die in der Kurve aussen liegende Seite der Maschine heben, die innen liegende senken. Dadurch wird der Luftdruck auf die Tragflächen nicht mehr senkrecht zum Erdboden, aber wohl noch nach wie vor senkrecht zur Tragfläche wirken, er wird also gegenüber der Erdoberfläche, beziehungsweise der Horizontalen, um die Neigung der Maschine schräg stehen, wie Figur 13 zeigt. Dem Maschinengewicht entgegen wirkt dann nur noch $V \cos \alpha$, der Zentrifugalkraft entgegen $V \sin \alpha$.

Soll ein Sinken der Maschine nicht eintreten, so muss

durch Betätigung des Höhensteuers dafür gesorgt werden, dass $V \cos \alpha = G$ wird. Das wird genau in dem gleichen Umfange möglich sein als zuvor $Z_0 \cos \alpha$ zur Überwindung der Bewegungswiderstände ausreichte, man wird also mit derselben Grösse der Winkel α rechnen können, wenn es sich auch um ganz verschiedene Winkel α handelt. Ist $V \cos \alpha = G$, so ist $V \sin \alpha = G \operatorname{tg} \alpha$. Diese Kraft wirkt der Zentrifugalkraft entgegen und man hat:

$$G \operatorname{tg} \alpha = \frac{G}{g} \frac{v^2}{r}$$

oder

$$r = \frac{1}{g} \frac{v^2}{\operatorname{tg} \alpha}. \qquad 3)$$

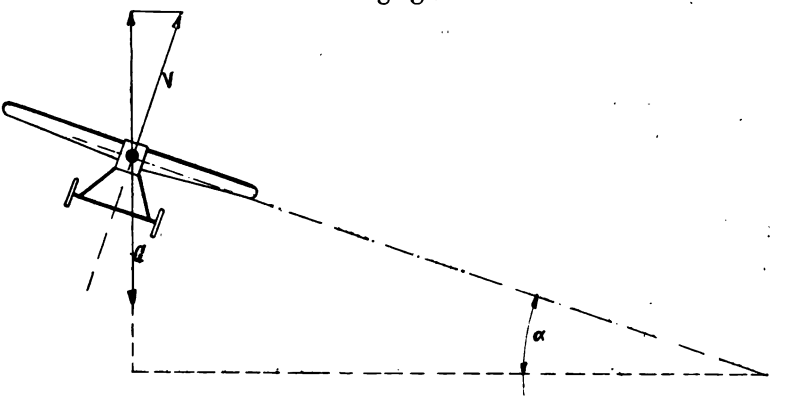


Fig. 13.

Man hatte früher erhalten

$$r = \frac{G}{g} \frac{v^2}{Z_0 \sin \alpha}.$$

Wäre z. B. $G = 600$, $v = 25$, $Z_0 = 150$, $\alpha = 20^0$, so erhält man im einen Fall $r = 160$ m, im andern $r = 750$ m. Zum Durchfliegen eines vollen Kreises werden also gebraucht 40 sec resp. 188 sec entsprechend einer Winkelgeschwindigkeit von 0,07 resp. 0,015.

Die Maschine ändert also ihre Bewegungsrichtung in der Sekunde um 9^0 bzw. um ca. 2^0. Allgemein wäre die Winkelgeschwindigkeit der Drehung $\omega = \frac{g \operatorname{tg} \alpha}{v}$ bzw. $= \frac{g \sin \alpha}{v} \cdot \frac{Z_0}{G}$.

Abgesehen von dem Unterschied zwischen $\operatorname{tg}\alpha$ und $\sin\alpha$, der ja erst bei grösseren Winkeln in Erscheinung tritt, verhalten sich die Krümmungsradien der Flugbahn wie $\frac{G}{Z_o}:1$, wobei im Allgemeinen $\frac{G}{Z_o}$ etwa gleich $4 \div 5$ sein wird. Handelt es sich jedoch um starke Schräglagen, so erhielte man das Verhältnis $\frac{G}{Z_o \cos\alpha}:1$. Man wird also mindestens einen vier- bis fünfmal kleineren Kreis bei Zulassung einer Schräglage fahren können als ohne Schräglage. Immer wird r aber auch abhängig sein von v^2, woraus folgt, dass schnelle Maschinen nie gleich enge Kreise fahren können als wie langsame Maschinen.

Der kleinste Radius, der von einer Maschine beschrieben werden kann, ist also gegeben durch die erreichbare Grösse vom Winkel α. Dieser Winkel hängt ab von dem Übergewicht, das die Maschine durch Änderung des Anstellwinkels zu tragen in der Lage ist. Wenn man bei dem Vorgang die Maschine gleichzeitig sinken lässt, was nach Früherem ja einer Vergrösserung von Z gleich kommt, wodurch sich ihre Geschwindigkeit und damit Tragkraft vergrössert, so kann man über diesen so festgelegten Winkel α noch hinausgehen, also noch engere Kurven beschreiben[1]). Es ist aber zu beachten, dass dann auch die Drücke auf die Tragfläche entsprechend zunehmen. Sie erreichen jedoch erst in ganz aussergewöhnlichen Fällen Werte, die derjenigen Grösse nahe kommen, die in Rücksicht auf den Gleitflug in Rechnung zu ziehen ist. Häufig wird der Krümmungsradius der Flugbahn einer Maschine derart bestimmt, dass man die Zeit feststellt, die vergeht, bis die Maschine im Kreis fliegend zum Ausgangspunkt zurückkehrt. Man multipliziert die gemessene Zeit mit der normalen Fluggeschwindigkeit und erhält so scheinbar den Umfang der Kreisbahn und daraus den

[1]) Man wird beim ersten Zusehen vielleicht meinen, dass eine Vergrösserung von v eine Vergrösserung des Krümmungsradius zur Folge habe. In gleichem Mass vergrössert sich aber auch V α und damit V $\sin\alpha$, ausserdem aber ist ein grösseres α möglich, sodass die Wirkung von α übrig bleibt.

Radius. Nach dem Vorausgegangenen ist es klar, dass eine solche Rechnung bei starken Schräglagen, wo die Maschine in der Kurve fallen muss, unrichtige Resultate liefert, denn die Fluggeschwindigkeit war dann in der Kurve wesentlich grösser als die normale, infolgedessen ist auch der Umfang der Kreisbahn grösser als die Rechnung ergab.

Fährt das Flugzeug in der Kurve, so ist, wie schon mehrfach hervorgehoben, die Geschwindigkeit an den Tragflächenenden, die aussen liegen, grösser, als die Geschwindigkeit der in der Kurve innen liegenden Tragflächenenden. Ist r der Krümmungs-

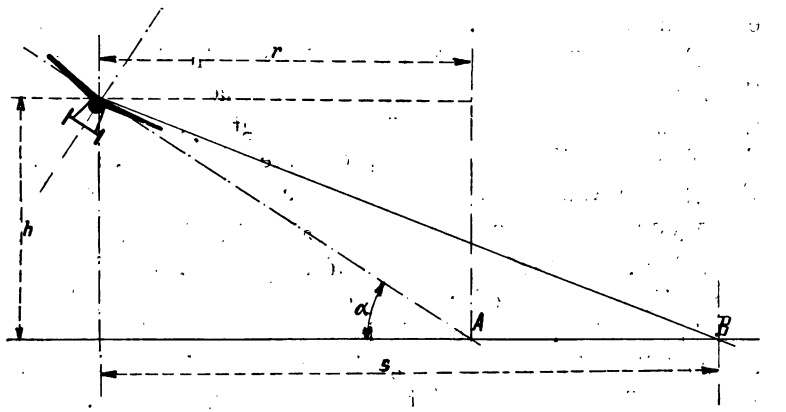


Fig. 14.

radius, v die Flugzeuggeschwindigkeit, l die Klafterung der Maschine, so ist die Geschwindigkeit aussen

$$v\frac{r+l/_2}{r}=v\left(1+\frac{l}{2r}\right),$$

und die Geschwindigkeit innen $v\left(1-\frac{l}{2r}\right)$. Dabei ist Voraussetzung, dass die Maschine horizontal liegt. Befindet sie sich hingegen in Schräglage, so ist die Bewegung auf den Punkt A Fig. 14 zu beziehen und man erhält für die beiden Geschwindigkeiten $v\left(1\pm\frac{l\cos\alpha}{2r}\right)$. Der Unterschied ist also bei Schräglage und gleichem v und l weniger bedeutend, als wenn die Ma-

schine horizontal liegen bleibt[1]). Trotzdem bleibt der Unterschied bestehen und bewirkt, wie schon mehrfach gesagt, ein Moment um die Längsachse. Dieses Moment würde eine beständige Zunahme der Schräglage und damit eine zunehmende Verkleinerung des Krümmungsradius bedingen, wenn ihm nicht Kräfte entgegenwirken (z. B. das früher erwähnte mögliche Moment eines hochliegenden Seitensteuers, oder Kräfte, die entstehen, wenn die Flugzeuglängsachse nicht tangential zur Kurve liegt). Diese Dinge berühren aber gleichfalls Fragen des Gleichgewichts, die später erörtert werden sollen. Jedenfalls kann durch die Quersteuerung, wenn nötig, einem solchen Moment entgegengewirkt werden.

Es wird häufig gesagt, dass bei Fahrt in der Kurve der Schwerpunkt infolge der Zentrifugalkraft nach aussen bewegt werde, wodurch schon die Schräglage bedingt sei. Das ist natürlich eine unrichtige Anschauung, da, wie wir wissen, sämtliche Bewegungen des Flugzeugs um seinen Schwerpunkt erfolgen.

Denkt man zunächst an die Fahrt in der Kurve ohne Schräglage, so wird es ganz darauf ankommen, ob die Kräfte G und $Z_o \sin\alpha$ über oder unter, oder in der Höhe des Schwerpunkts angreifen. Greifen sie in der Höhe des Schwerpunkts an, so tritt keine Drehung ein, die Maschine wird einfach nach innen gedrängt und beschreibt deshalb eine krumme Bahn. Liegen die Kräfte über dem Schwerpunkt, so wird durch das damit bedingte Moment eine Drehung der Maschine um die Längsachse bewirkt, der Schwerpunkt bleibt also liegen, aber die über ihm liegenden Teile der Maschine werden nach innen gedrückt, so dass eine Schräglage eintritt. Das umgekehrte ist der Fall, wenn der Schwerpunkt über dem Druckmittelpunkt der senkrechten Flächen liegt. Bildet aber das Seitensteuer mit der

---

[1]) Über die Grösse der Schräglagen von Flugzeugen in der Kurve täuscht man sich übrigens leicht. Man glaubt eine ausserordentliche Schräglage vor Augen zu haben, wenn man auf die Oberseite der Tragflächen sieht. Steht der Beschauer in B, so wird das der Fall sein, sobald $\operatorname{tg}\alpha > \frac{h}{s}$ ist. Ist z. B. $h = 50$ m, $s = 500$ m, so braucht α nur grösser als 6^0 zu sein um das Resultat zu ergeben.

Bewegungsrichtung einen Winkel, der nach dem Innern der Kurve weist, so wirkt eine hochliegende Steuerfläche aufrichtend, wie schon mehrfach gesagt.

Ebenso liegen die Dinge beim Kurvenflug in der Schräglage. Liegt die Tragfläche schräg, so wird sie nach innen gedrängt und es erfolgt eine Drehung um den Schwerpunkt. Liegt dabei der Schwerpunkt über den Tragflächen, so verschwindet die Schräglage wieder, wenn nicht andere Kräfte mitwirken, die sie aufrecht erhalten und die vom Seitensteuer und dem bei der Drehung auftretenden Moment um die Längsachse herrühren.

Wie aus Allem hervorgeht, kann der Flug in der Kurve auf sehr verschiedene Art bewirkt und eingeleitet werden. Alle die aufgezählten Mittel können aber auch miteinander in der einen oder anderen Weise kombiniert und so die verschiedensten Effekte erzielt werden.

I. Das Motordrehmoment.

Leistet der Motor eines Flugzeugs N Pferdestärken und ist seine Drehzahl n Umdrehungen in der Minute, so ist das Drehmoment $M_d = \frac{30 \cdot N \cdot 75}{n \cdot \pi}$, mit $N = 70$ PS und $n = 1200$ wird z. B. $M_d = \frac{30 \cdot 70 \cdot 75}{1200 \cdot \pi} = 42$ mkg. Dieses Drehmoment sucht die Maschine zu drehen. Es muss deshalb unschädlich gemacht werden.

Der äussere Stützpunkt, um den die Drehung erfolgt, ist dabei die Luft, die der Drehung der Schraube einen Widerstand entgegensetzt. Wenn man deshalb zwei gleiche gegenläufige Schrauben anwendet, so hebt sich beider Drehmoment auf. Dabei ist es im Prinzip gleichgültig, ob die beiden Schrauben neben- oder hintereinander liegen.

Man kann aber auch durch entsprechende Gegengewichte am einen Ende der Tragfläche, exzentrische Anordnung des Motors samt Schraube u. a. dieses Drehmoment ausgleichen.

Im letzteren Fall erhält man dann freilich ein anderes Drehmoment um die Vertikalachse, dass aber im Verhältnis $\frac{G_m}{Z_0}$ kleiner ist, wobei G_m das Motorgewicht bedeutet, und das unschwer durch Vertikalflächen hinter dem Schwerpunkt ausgeglichen werden kann. Schliesslich kann man das Moment durch die Quersteuerung aufheben.

Hat man einen solchen Ausgleich herbeigeführt, so muss man den Nachteil in Kauf nehmen, dass, sobald der Motor abgestellt wird oder versagt, also auch beim Gleitflug, nunmehr kein Gleichgewicht mehr besteht und die Quersteuerung in Tätigkeit treten muss.

Deshalb hat die Anordnung von zwei gegenläufigen Schrauben etwas im ersten Augenblick bestechendes, denn es ist dann Gleichgewicht vorhanden, gleichgültig ob der Motor läuft oder nicht. Es tritt aber ein Moment auf, sobalb eine Schraube oder ihr Antrieb bricht.

Diese Umstände bedürfen der näheren Untersuchung. Handelt es sich um Einschraubenantrieb, wobei das Drehmoment ausgeglichen sei und wird der Motor abgestellt, so tritt in diesem Augenblick das Moment M_d auf und bewirkt eine Drehung um die Maschinenlängsachse, wobei die Winkelbeschleunigung $i = \frac{M_d}{I}$ ist, sobald aber die Drehung beginnt, äussern ihr gegenüber auch die Tragflächen Widerstände. Es kommt hinzu, dass infolge der durch die Drehung bewirkten Schräglage die Maschine vom geraden Kurs abweichen wird. Dadurch wird die Drehung verstärkt, die Frage ist nur, ob die Drehung so langsam vor sich geht, dass der Führer Zeit hat einzugreifen. Sieht man deshalb von der Drehung um die Vertikalachse ab, so bewirkt eine Drehung um die Längsachse, dass bei einer Winkelgeschwindigkeit ω jedes Flächenelement der Tragflächen eine, seinem Abstand x vom Schwerpunkt proportionale, senkrecht zur Bewegungsrichtung stehende Geschwindigkeit ωx erhält. Ist der Anstellwinkel der Tragfläche gegenüber der Bewegungsrichtung zuvor $\sigma_0 + \delta$, so erhält man jetzt die Anstellwinkel relativ zur Bewegungsrichtung $(\sigma_0 + \delta) \pm \varepsilon = (\sigma_0 + \delta) \pm \frac{\omega x}{v}$. Dabei gilt

das positive Zeichen für die sich senkende, das negative für die sich hebende Seite. Dadurch entstehen entsprechend den geänderten Anstellwinkeln Kräfte, die der Bewegung entgegenwirken und ein Drehmoment ergeben. Die Geschwindigkeit v ändert sich für die einzelnen Elemente von v auf $\sqrt{v^2 + \omega^2 x^2}$. Summiert man alle von den einzelnen Elementen der Tragfläche derart geäusserten Drehmomente, so erhält man das der Drehung widerstehende Moment

$$M = \frac{\frac{\omega l}{v}}{\sigma_0 + \delta} \cdot \frac{l}{12} \cdot G \cdot \left(1 + \frac{\omega^2 l^2}{v^2} \frac{3}{20}\right), \qquad 1)$$

wobei l die Klafterung der Maschine ist. Ist also eine Drehgeschwindigkeit ω erreicht, so wirkt dem Motordrehmoment M_d das Moment M entgegen und es ist demnach, wenn man $\frac{\omega^2 l^2}{v^2} \frac{3}{20}$ gegen 1 vernachlässigt, die Drehbeschleunigung

$$i = \frac{M_d - M}{I} = \frac{M_d - \frac{\frac{\omega l}{v}}{\sigma_0 + \delta} \frac{l}{12} G}{I}. \qquad 2)$$

Die Drehbeschleunigung nimmt also ständig ab (wobei ω natürlich trotzdem, aber immer weniger, zunimmt), so dass man sich mehr und mehr einer Grenze der Winkelgeschwindigkeit nähert, die erreicht ist, wenn i zu Null geworden ist. Es wird aber i Null, wenn

$$M_d = \frac{\frac{\omega l}{v}}{\sigma_0 + \delta} \frac{l}{12} G \text{ geworden ist, also}$$

$$\omega = 12 \frac{M_d}{Gl} \frac{\sigma_0 + \delta}{l v}. \qquad 3)$$

Man wird demnach mit einer mittleren Winkelgeschwindigkeit von $\omega = 6 \frac{M_d}{Gl} \frac{\sigma_0 + \delta}{l v}$ für die Beschleunigungsperiode rechnen können, wobei allerdings die unrichtige Annahme einer gleichbleibenden Beschleunigung gemacht ist. Setzt man unter Berücksichtigung der Abnahme von i mit der Zeit $\omega = \frac{i t}{2}$

und damit $$i = \frac{M_d - \frac{\frac{i\,t\,.\,l}{2\,v}}{\sigma_0 + \delta}\,\frac{l}{12}\,G}{I}, \qquad 4)$$

so erhält man in Annäherung

$$i = \frac{M_d}{I}\,\frac{1}{1 + \frac{t\,l}{2\,I\,v}\,\frac{1}{\sigma_0 + \delta}\,\frac{l}{12}\,G} \qquad 5)$$

und $$\gamma = \frac{i\,t^2}{2} = \frac{M_d}{2\,I}\,\frac{1}{1 + \frac{t\,l}{2\,I\,v}\,\frac{1}{\sigma_0 + \delta}\,\frac{l}{12}\,G}\,t^2. \qquad 6)$$

Für eine Maschine von 300 kg Eigengewicht ist I bezogen auf die Längsachse, wie früher angegeben, ca. 70 und das Betriebsgewicht etwa 400 kg, $l = 10$ m $\sigma_0 + \delta$ etwa $7^0 = 0{,}12$ im Bogenmass, v etwa 20 msec und M_d ca. 30 mkg entsprechend 50 PS.

Man erhält dann:

$$\gamma = \frac{30}{2{,}70}\,\frac{1}{1 + \frac{t\,.\,10}{2.70{,}20}\,\frac{1}{0{,}12}\,\frac{10}{12}\,.\,400}\,t^2$$

$$= 0{,}215\,\frac{1}{1 + 10\,t}\,t^2.$$

Er ist dann

mit	$t =$	1	2	3	5	10 sec
	$\gamma =$	0,0196	0,041	0,0625	0,106	0,212
entsprechend		$1^0\,7'$	$2^0\,21'$	$3^0\,35'$	$6^0\,5'$	$12^0\,14'$.

Eine genaue Rechnung ohne Vernachlässigungen und angenäherte Substitutionen gibt:

$1^0\,10'$ $2^0\,24'$ $3^0\,37'$ $6^0\,9'$ $12^0\,21'$.

Die Drehung geht also ausserordentlich langsam vor sich, wobei freilich der Einfluss des Maschinenträgheitsmoments schon nach wenigen Sekunden fast völlig verschwindet, so dass von da ab nur noch mit einer konstanten aber langsamen Drehgeschwindigkeit zu rechnen ist. An diesem Resultat ändert auch eine genauere Rechnung, wie der Vergleich zeigt, nichts. Es bleibt also dem Führer reichlich Zeit einzugreifen, und es ist das Verschwinden des Motordrehmoments bei Versagen oder

Abstellen des Motors nicht bedenklich. Gleichzeitig tritt mit dem Anwachsen der Drehwiderstände um die Längsachse, hervorgerufen wie erläutert durch Vergrösserung des Auftriebs auf der einen Seite und Verkleinerung auf der anderen Seite der Tragfläche, eine Zunahme der Bewegungswiderstände auf derselben Seite der Maschine ein. Diese hat ein Drehmoment um die Vertikalachse zur Folge, dessen Grösse dem vorigen Moment proportional ist und ausserdem ungefähr proportional $\sin(\sigma_0 + \delta)$, so dass dieses Moment die Grösse

$$M \sin(\sigma_0 + \delta) = \frac{\frac{\omega l}{v}}{\sigma_0 + \delta} \frac{1}{12} G \,.\, \sin(\sigma_0 + \delta) \text{ hat.}$$

Dieses Moment ruft dann eine Drehung um die Vertikalachse hervor, der die Vertikalflächen der Maschine einen Bewegungswiderstand entgegensetzen, Verhältnisse, die hier nicht weiter untersucht werden sollen. Bemerkt sei nur, dass diese Drehung natürlich auf das vorausgehende Resultat insofern zurückwirkt, als man mit seiner Berücksichtigung eine etwas schnellere Drehung um die Längsachse errechnet hätte.

Wendet man, um mit dem Motordrehmoment nicht rechnen zu müssen, Zweischraubenantrieb an und legt beide Schrauben in die Längsachse, so tritt, wenn eine Schraube oder ihr Antrieb bricht, gleichfalls das eben untersuchte Drehmoment um die Längsachse auf, wenn es dann auch nicht der vollen Motorleistung entspricht, da zwar, wenn eine Schraube gebrochen ist, jedenfalls der Motor schneller läuft, also sein Drehmoment bei der erhöhten Drehzahl stark zurückgeht.

Sind hingegen die Schrauben bei Zweischraubenantrieb rechts und links von der Längsachse angeordnet, so treten beim Bruch einer Schraube gleichzeitig zwei Momente auf, erstens das schon besprochene Moment um die Längsachse genau ebenso wie wenn die Schrauben beide in der Längsachse liegend angeordnet wären und zweitens ein Moment um die Vertikalachse der Maschine, dessen Grösse gegeben ist durch den Abstand der Schraubenachse von der Längsachse und die Schraubenkraft selbst.

Dieses Moment strebt eine Drehung in Richtung des Pfeils 1 Fig. 15 an, das zuerst genannte eine Drehung nach Pfeil 2, wobei der Drehsinn sich nach der Umlaufrichtung der Schraube richtet. Die Folge der Drehung 1 ist, dass die Seite der Maschine, auf der die nicht gebrochene Schraube liegt, gehoben wird, dem entspricht eine Drehung in Richtung des Pfeils 3. Es leuchtet ein, dass es jedenfalls günstiger ist, wenn die Pfeile 2 und 3 entgegengerichtet sind, diese Momente sich also wenigstens teilweise aufheben, woraus folgen würde, dass es zweckmässig ist, wenn die beiden Schrauben von oben nach innen schlagen. In diesem Fall erhält man auf dem gleichen näherungsweisen Weg wie zuvor, wenn man die Winkelbeschleunigung und Winkelgeschwindigkeit in Richtung des Pfeils 1 mit i_h und ω_h, die in Richtung des Pfeils 2 mit i_v und ω_v bezeichnet und die zugehörigen von Schraube und Motor geäusserten Momente mit M_h und M_v die zugehörigen Trägheitsmomente mit I_v und I_h und schliesslich den Abstand der Schraubenachse vom Schwerpunkt mit s bezeichnet:

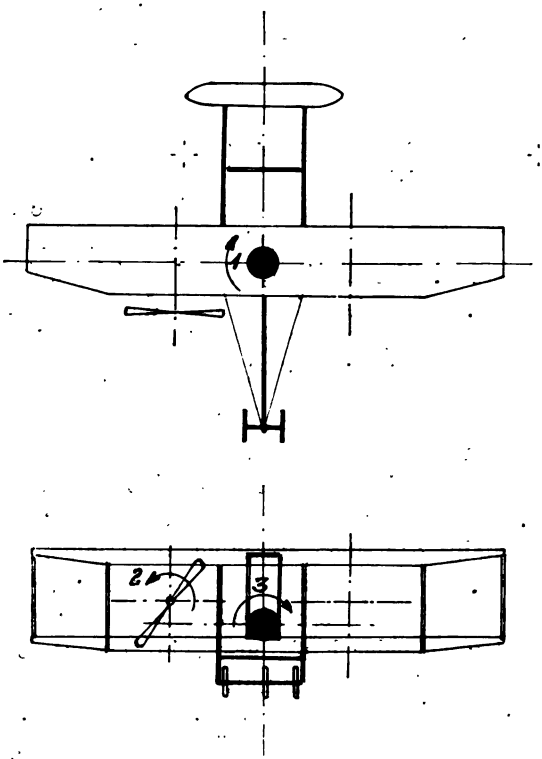


Fig. 15.

$$i_h = \frac{M_h}{I_h} \frac{1}{1 + \left(\frac{G}{6}\frac{l^2}{v}\frac{\sigma_0+\delta}{I_h} + \frac{C v^2 t}{2 I_h}\right)\frac{2}{t}}; \qquad 7)$$

hierin bedeutet C eine Grösse, die durch die Lage und Abmessung der vertikalen Flächen gegeben ist. Ist die Grösse der Vertikalflächen einschliesslich Seitensteuer f und liegt ihr gemeinsamer geometrischer Schwerpunkt im Abstand a vom Massenschwerpunkt der Maschine, so ist

$$C = f\frac{\gamma}{g} k . a.$$

M_h ist das von der Schraube am Hebelarm s geäusserte Moment Zs, für die Grösse der Schräglage nach der Zeit t erhält man demnach angenähert den Winkel

$$\varepsilon_h = \frac{M_h}{I_h} \frac{1}{1 + \left(\frac{G}{6}\frac{l^2}{v}\frac{\sigma_0+\delta}{I_h} + \frac{C v^2}{I_h}\frac{t}{2}\right)} \frac{t^2}{2}. \qquad 8)$$

Auf ähnlichem Weg ergibt sich für die Drehbeschleunigung um die Längsachse

$$i_v = \frac{M_v - \frac{G}{6}\frac{l^2}{v}\frac{i_h t}{2}}{I_v + \frac{t}{2}\frac{l}{v}\frac{l}{12}(\sigma_0+\delta)G}, \qquad 9)$$

(dabei ist M_v das Motordrehmoment), woraus

$$\varepsilon_v = i_v \frac{t^2}{2} \text{ wird.} \qquad 10)$$

Bleibt man bei den Zahlenwerten des früheren speziellen Falls und erweitert dieselben, indem man nach den früheren Angaben $I_h = 200$ setzt und $C = f\frac{\gamma}{g} k a = 2{,}5$, ferner $Z = 70$ kg $s = 1{,}5$ m $M_v = 25$ mkg (also etwas kleiner wie zuvor) annimmt, so erhält man

für t =	1	2	3	5	10
i_h =	0,21	0,08	0,04	0,015	0,004
ε_h =	6°	9° 12′	10° 22′	11°	11° 30
i_v =	— 0,013	— 0,001	+ 0,0046	0,0035	0,0024
ε_v =	— 0° 22′	— 0° 7′	+ 1° 11′	2° 27′	6° 51′[1]

[1]) Wirken sich die beiden Momente, herrührend von der Motorkraft und dem ungleichen Druck auf die Tragfläche infolge der Schwankung um die Vertikalachse, nicht entgegen, so erhält man:

$\varepsilon_v = 2° 16′\ 3° .54′\ 5° 20′\ 7° 37′\ 13° .0$ für die gleichen Intervalle.

Daraus ergibt sich, dass diese Bewegungen so langsam vor sich gehen, dass ein plötzlicher Absturz infolge des Bruchs einer Schraube ausgeschlossen erscheint, selbst wenn man berücksichtigt, dass die angegebene Rechnung nur für kleine Werte von t genau sein kann. Dieses Resultat deckt sich mit praktischen Erfahrungen, die darin übereinstimmen, dass beim Stillstand eines Propellers bei Zweischraubenantrieb das Flugzeug eine langsame Wendung nach einer Seite ausführt. Wenn trotzdem mehrere schwere Unfälle bei Maschinen mit Zweischraubenantrieb vorliegen, so erklärt sich das daraus, dass durch den Bruch einer Schraube leicht andere Maschinenteile zerstört werden können, die dann unter Umständen einen schweren Absturz zur Folge haben. Reisst z. B. bei Kettenantrieb eine Kette, so kann sie sich verwirren, wobei sie vom Motor aufgerollt wird. Durch die dabei auftretenden Kräfte kann der Bruch weiterer Maschinenteile eintreten usf. Das ist um so leichter möglich, als meist beim Zweischraubenantrieb die Lagerung der Schraubenachsen, um an Gewicht zu sparen, ziemlich primitiv vorgenommen wird.

Nun wirken, von Motor und Schraube ausgehend, noch andere Drehmomente auf das Flugzeug ein, sobald seine Flugbahn nicht geradlinig ist, die durch die Kreiselwirkung der rotierenden Massen hervorgerufen werden. Das Zustandekommen dieser Drehmomente kann hier nicht weiter erklärt werden, es ist das z. B. in elementarer Weise in Band 5 dieser Sammlung geschehen.

Geht ein Flugzeug mit der Spitze nach oben, so sucht die Schraube, je nach ihrer Drehrichtung, das Flugzeug nach rechts oder links um seine Vertikalachse zu drehen. Dasselbe gilt umgekehrt wenn die Spitze sich senkt. Erfolgt eine Schwenkung der Maschine nach rechts um ihre Vertikalachse, so sucht die Schraube (deren Achse ja vom Flugzeug mit gedreht wird) je nach ihrer Drehrichtung die Spitze des Flugzeugs zu heben oder zu senken. Bei einer Schwenkung nach links tritt der umgekehrte Vorgang ein. Dabei setzt die Schraube der Drehung ihrer Achse einen Widerstand in Form eines Drehmoments entgegen. Wird dieses Drehmoment überwunden, so

äussert es sich in gleicher Grösse in einer auf der ersten senkrecht stehenden Drehebene.

Je schneller die Drehung der Schraubenachse erfolgt, um so grösser ist das genannte Drehmoment, das im übrigen um so grösser ist, je grösser die rotierenden Massen sind und je grösser deren Rotationsgeschwindigkeit ist.

Aus dem vorher beschriebenen Vorgang folgt schon, dass jedenfalls diese Wirkung der Schraube nicht nach aussen tritt, wenn man zwei Schrauben anwendet, die in entgegengesetzter Richtung rotieren. (Im Inneren der Maschine zwischen den beiden Schraubenachsen sind aber diese Momente gleichwohl vorhanden und ergeben entsprechende Beanspruchungen der Schraubenlager und der zwischen beiden Schrauben liegenden Maschinenteile.)

Wird ein seitliches Ausweichen der Achse gewaltsam verhindert, so tritt eine Beschleunigung der Rotationsbewegung ein, die der zur Überwindung des Drehwiderstands der Achse aufgewendeten Arbeit entspricht.

Es fragt sich, ob die auf die Maschine dieser Gestalt ausgeübten Momente eine gefährliche Grösse erreichen.

Die Grösse der auftretenden Momente ist schon an mehreren Stellen dieser Sammlung ermittelt (Hoffmann, Der Maschinenflug; Bejeuhr, Die Luftschrauben), es sei deshalb auf diese Stellen verwiesen. Es zeigt sich, dass die auftretenden Momente nicht grösser sind, als die zuvor besprochenen, so dass ihre Wirkung die der besprochenen Momente nicht übertreffen wird. Damit sind sie aber dann auch durch die Steuerungen beherrschbar.

K. Die Praxis des Flugs.

Bei allen bisherigen Betrachtungen war angenommen, dass die Luft selbst in Ruhe sei, nur an einigen Stellen ist der Einfluss der Bewegung der Luft selbst gestreift worden und tatsächlich kommt es für alle vorausgegangenen Untersuchungen auch nur

auf die Bewegung der Maschine relativ zur Luft an, so dass, wenn nur die Luftbewegung gleichmässig ist, nachdem die Maschine den Boden einige Zeit verlassen hat, die Bewegung der Luft selbst keine Rolle mehr spielt.

Handelt es sich aber um die praktische Ausübung des Flugs, so spielt die Bewegung der Luft selbst immerhin eine Rolle insofern, als erstens der äussere Eindruck für den Flieger dadurch beeinflusst wird und zweitens insofern, als die Luftbewegung praktisch nicht so gleichmässig sein wird, als es wünschenswert wäre, und sich daraus praktische Regeln ergeben, deren Beachtung notwendig ist. Schliesslich spielt die Bewegung der Luft, auch wenn sie noch so gleichmässig ist, bei Abflug und Landung und in der Kurve eine bedeutende Rolle.

Über die Entstehung der Luftbewegungen ist in anderen Bänden dieser Sammlung das Nötige zu finden. Ebenso ist dort ausführlich behandelt, welche Umstände die Unregelmässigkeit von Luftbewegungen verursachen. Hier ist deshalb nur mit der Tatsache zu rechnen, dass Bewegungen in der Luft vorhanden sind, dass im allgemeinen die Stärke der Luftbewegung mit der Entfernung der Erdoberfläche zunimmt, dass aber zugleich mit der Entfernung von der Erdoberfläche die Luftbewegung gleichmässiger wird, also zum grossen Teil ihren böigen Charakter verliert. Je mehr man sich der Erdoberfläche nähert, um so mehr ist die Luft mit Wirbeln durchsetzt.

Auch wird als bekannt vorausgesetzt, dass der Wind nicht nur horizontal weht, dass vielmehr auch mit auf- oder absteigenden Luftströmungen zu rechnen ist. Alle diese Umstände müssen praktisch berücksichtigt werden. Jedoch soll im Folgenden das nur insoweit geschehen, als die Handhabung der Maschine dadurch beeinflusst wird, nicht insoweit, als eine besondere Gestaltung der Maschine dieselbe gegen Ungleichmässigkeiten der Luftbewegung unempfindlicher, sie also stabiler macht. Alle diesbezüglichen Fragen sind in späteren Abschnitten zu behandeln.

Sieht man von allen Luftbewegungen ab, so ist der Beginn des Flugs sehr einfach. Nach den vorausgegangenen Darlegungen über den Abflug wird man einen möglichst ebenen,

harten Boden dafür wählen, sofern man die Wahl hat, und wird nach Ingangsetzung des Motors und Kontrolle der Maschine anfahren. Dabei wird man im Interesse eines kurzen Anlaufs und einer raschen Beschleunigung der Maschine mit voller Motorkraft fahren und die ganze Maschine mit Hilfe des Höhensteuers so stellen, dass die Tragflächen wenig Widerstand ergeben, also flach stehen. Das wird aber erst nach Zurücklegung einer bestimmten Strecke möglich sein, weil die Steuerflächen der Maschine erst bei einer gewissen Geschwindigkeit wirksam sein werden, denn erst dann hat der Luftdruck auf sie eine gewisse Mindestgrösse erreicht. Ist so die nötige Geschwindigkeit erlangt, die man, wenn nicht durch einen Blick auf den Boden, so an dem Druck des Steuerhebels, der dem Luftdruck auf die Steuerflächen entspricht, feststellen kann, so richtet man die Maschine vorn auf, so dass die Tragflächen Druck bekommen, und sie wird angehoben werden.

Dieses Anheben geht zum guten Teil auf Kosten des lebendigen Arbeitsvermögens des Flugzeugs; soll deshalb die Maschine nicht wieder niederfallen, so ist der Steuerhebel wieder zurückzulegen, so dass die Maschine in mässig schräger Bahn zu der gewünschten Höhe ansteigt. Andernfalls würde die Maschine zu viel an Geschwindigkeit einbüssen und damit dem Steuer nicht mehr gehorchen und im schlimmsten Fall abrutschen[1]). Weiterhin wäre das Höhensteuer so zu handhaben, dass die gewünschte Flughöhe eingehalten wird.

[1]) Besitzt die Maschine, wie die meisten modernen, wenn der Motor in Ordnung ist, einen grossen Kraftüberschuss, so ist die genannte Vorsicht nicht nötig. Es kann aber doch der Fall eintreten, dass ein zu grosser Steigwinkel gewählt wird, und die Maschine ihre Geschwindigkeit beim Ansteigen verliert. Sie beginnt dann, trotz grosser Schräglage, zu fallen. Sucht der Führer dem durch die normale Betätigung der Steuer entgegenzuwirken, so verschlimmert er nur den Zustand, denn die Maschine befindet sich jenseits der zweiten Gleichgewichtslage, und zuletzt ist ein Absturz unvermeidlich. Infolge des üblichen grossen Kraftüberschusses kennen die heutigen jungen Piloten diese zweite Gleichgewichtslage kaum noch und wären deshalb meist gar nicht fähig, aus primitiven und schwachen Maschinen das Mögliche herauszuholen, wie das seiner Zeit von Farman u. A. geschah. Diese Kenntnis ist aber zum Einfliegen neuer Maschinen zum mindesten erwünscht.

Schliesslich wird man an die Landung denken und auch hierzu einen möglichst ebenen Platz mit mutmasslich hartem Boden aussuchen, der in der Bewegungsrichtung die nötige Ausdehnung hat, und wird sich ihm nähern; geschieht das mit angestelltem Motor, so werden keine Schwierigkeiten vorliegen, sofern man den Motor bei der Berührung mit dem Boden abstellt, und so nicht die Gefahr besteht, dass die Maschine wieder ungewollt in die Höhe geht.

Geschieht die Landung im Gleitflug, so wird sie schwieriger sein, weil man darauf achten muss, dass der Gleitwinkel nicht zu flach, also die Geschwindigkeit der Maschine zu gering wird, weil sie dann dem Steuer nicht mehr gehorcht, andererseits nicht zu steil, um die eigentliche Landung nicht zu erschweren. Dabei ist, wenn der Motor vor Berührung mit dem Boden nicht wieder angelassen wird, der letzte Teil des Gleitfluges so zu gestalten, dass die Maschine ein genügendes, aber nicht zu grosses lebendiges Arbeitsvermögen in sich aufnimmt, damit ein Einlenken in die Richtung der Erdoberfläche möglich wird. Der Gleitwinkel, die Gleitgeschwindigkeit und diejenige Höhe über dem Erdboden, in der das Einlenken stattzufinden hat, wird für jede Maschine verschieden sein, es ist also hier grosse Übung und ein feines, nur durch die Erfahrung erlangbares Gefühl erforderlich. Der Gleitflug gilt deshalb mit Recht für schwierig und seine Erlernung für nicht ungefährlich.

Was die äusseren Eindrücke anlangt, so überrascht zuerst meist die rapide Vorwärtsbewegung und der mit ihr verbundene gewaltige Luftzug, doch sind hier je nach dem Maschinentyp Unterschiede, da man neuerdings meist dazu übergeht, die Führer- und Fluggastsitze möglichst geschützt anzuordnen. Je mehr man aufsteigt, um so mehr schwindet der Eindruck der grossen Geschwindigkeit, und nur der des Luftzugs bleibt bestehen. Schon in etwa 100 m Höhe ist die Geschwindigkeit gegenüber dem Boden kaum noch wahrnehmbar, so dass man glaubt, in der Luft fast still zu stehen, die Gegenstände der Erde schieben sich nur ganz langsam aus dem Gesichtsfeld.

Bei der Landung nähert sich die Erde für die Empfindung

ungemein schnell, so dass auch hier eine sichere Schätzung grosse Übung voraussetzt.

Wie ändern sich die Verhältnisse, wenn die Luft in glatter, gleichmässiger Bewegung ist? Denkt man sich, die Anlauffläche, von der der Abflug vor sich ging, sei beweglich gewesen und habe die Bewegung der Luft mitgemacht, wie das z. B. der Fall wäre, wenn diese Fläche an einem Freiballon aufgehängt wäre, dann hat man, da zwischen Luft und Anlauffläche samt Flugzeug keine Bewegung vorhanden ist, bezogen auf die Luft, ganz dieselben Verhältnisse wie zuvor im Fall ruhiger Luft. Gegenüber dem Erdboden ist aber ein Unterschied vorhanden. Zu der Bewegung des Flugzeugs gegenüber der Luft kommt, bezogen auf den Erdboden, die Geschwindigkeit der Luft gegenüber dem Erdboden hinzu. Beide Geschwindigkeiten setzen sich in bekannter Weise zusammen. Fallen beide Bewegungen in eine Richtung, so addieren oder subtrahieren sie sich. Bilden sie einen Winkel miteinander, so wird das Flugzeug schräg zu seiner Bewegungsrichtung abgetrieben, so dass es gegenüber dem Erdboden den Weg AB zurücklegt. Gegenüber dem Wind liegen, wie gesagt, ganz die früheren Verhältnisse vor und die Geschwindigkeit und Bewegung des Flugzeugs gegenüber der Luft entspricht der Strecke AC (siehe Fig. 16). Der Wind übt also auch auf das Flugzeug, wenn er nur gleichmässig ist, gar keine Wirkung aus.

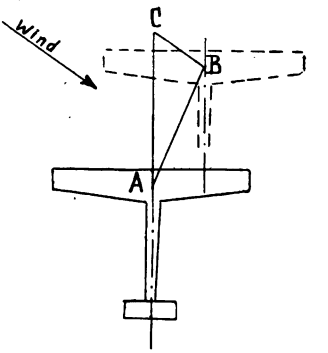


Fig. 16.

Das gilt nur, wenn das Flugzeug schon die Bewegung des Winds in sich aufgenommen hat. Steht es noch auf dem Erdboden, so wird das jedenfalls noch nicht der Fall sein, ebenso beim Anlauf. Erfolgt der Anlauf in der Windrichtung, so muss (wobei der Wind zunächst allerdings mithilft), das Flugzeug auf eine Geschwindigkeit gebracht werden, die gleich der Fluggeschwindigkeit vermehrt um die Luftgeschwindigkeit ist; man erhält also sehr grosse Geschwindigkeiten gegenüber dem Boden,

die bei unebenem Grund zum mindesten für die Maschine selbst gefährlich werden können und lange Anlaufstrecken bedingen. Umgekehrt liegen die Verhältnisse bei Anlauf gegen den Wind. Am unangenehmsten kann ein Anlauf bei Seitenwind werden. Das Flugzeug besitzt in Richtung des Winds zunächst keine Geschwindigkeit, infolgedessen drückt der Wind seitlich auf das Flugzeug und sucht es zu drehen, und zwar um die Längsachse und um die Vertikalachse. Dabei besitzt die Maschine noch nicht diejenige Geschwindigkeit, die nötig ist, damit die Steuer wirksam sind. Es kann demnach eintreten, dass die Maschine seitlich ins Rutschen kommt oder um die Längsachse kippt und mit einem Flügelende den Boden berührt oder schliesslich, dass sie im Bogen fährt. Man wird also, wenn möglich, gegen den Wind abfahren, andernfalls mit dem Wind, und nur wenn gar nicht zu vermeiden, bei Seitenwind. In der Regel hat die Maschine bei Abfahrt mit Seitenwind im Moment des Aufflugs die seitliche Windgeschwindigkeit noch nicht vollständig und besitzt ausserdem in der Regel noch nicht die volle Fluggeschwindigkeit, infolgedessen wird sie, wie sie vom Boden abkommt, vom Seitenwind gefasst in einem Moment, wo die Steuer infolge der noch geringen Geschwindigkeit erst träge wirken.

Wie man sieht, werden die Verhältnisse verwickelter, sobald das Flugzeug sich unter Verhältnissen bewegt, wo es die Windgeschwindigkeit noch nicht besitzt. Das ist auch der Fall, wenn ein Flugzeug mit dem Wind fliegt und gegen den Wind in die Kurve einbiegt. Dabei spielt allerdings die Art, wie die Kurve genommen wird, eine Rolle. Im allgemeinen kommt das Flugzeug mit einer Geschwindigkeit gegen den Wind an, die relativ zum Wind grösser ist, als die Fluggeschwindigkeit bei Windstille, weil beim vorausgegangenen Flug mit dem Wind die absolute Geschwindigkeit des Flugzeugs grösser als diese Geschwindigkeit war. Infolgedessen steigt die Maschine. Umgekehrtes gilt vom Einbiegen in die Windrichtung, wobei die Maschine im allgemeinen fällt.

Das Flugzeug verliert, wenn es in der Höhe gehalten wird, in der engen Kurve an Geschwindigkeit, womit die Wirksamkeit

der Steuer nachlässt. Man soll deshalb in enger Kurve nicht steigen, weil man leicht dabei zu viel an Geschwindigkeit einbüsst.

Der Einfluss auf- oder absteigender Winde ist schon früher besprochen. Besonders unangenehm sind absteigende Winde, die das Flugzeug in Bodennähe bringen, doch hört nahe am Boden die Abwärtsbewegung fast ohne Ausnahme auf, so dass ein Zusammenstoss mit dem Boden kaum zu befürchten ist. Allen diesen Einflüssen ist durch entsprechende Steuerbewegungen entgegenzuarbeiten. Die Wirkung des ungleichmässigen oder böigen Windes ist noch unangenehmer insofern, als in diesem Fall die Maschine nur in kurzen Augenblicken die Geschwindigkeit des Windes besitzen kann. Infolgedessen treten die geschilderten Auf- und Abwärtsbewegungen unausgesetzt ein und erfordern entsprechende Steuerbewegungen. In den seltensten Fällen hat — wie nebenbei bemerkt sei — die übliche Ausdrucksweise, dass eine Böe das Flugzeug „niederdrücke“ eine Berechtigung. Das Flugzeug fällt bei Flug gegen die Windrichtung, wenn der Wind nachlässt und steigt wie er zunimmt, weil seine Geschwindigkeit gegenüber der Luft in einem Fall zu klein, im andern zu gross wird. Umgekehrt liegen die Dinge beim Flug mit dem Wind. Damit soll die Möglichkeit sogenannter Fall- und Steigböen nicht geleugnet werden, doch werden sie das Flugzeug entweder kippen oder die Steig- resp. Fallbewegung wird längere Zeit andauern. Dazu kommt übrigens auch beim Flug in der Kurve bei gleichmässigem Wind, dass infolge mangelnder Übereinstimmung zwischen Flug- und Windgeschwindigkeit der Wind die Maschine auch von der Seite fasst und zu kippen sucht.

Wie man sieht, wird dadurch die Bedienung der Maschine um vieles schwieriger.

Auch die äusseren Eindrücke sind andere als beim Flug ohne Wind. Gegenüber der Erde ist die Bewegung der Maschine sehr rasch bei Flug mit dem Wind, und entsprechend langsam beim Flug gegen den Wind. Nach Wendungen macht sich dieser Unterschied besonders bemerkbar. Fährt man quer zum Wind, so ist die schräge Bewegung der Maschine gegenüber dem Boden

auffallend und für den Neuling beunruhigend, da die Maschine nicht mehr den Kurs zu halten scheint. Das erweckt natürlich zuerst ein Gefühl der Unsicherheit. Die Überwachung der Lage der Maschine gegenüber dem Erdboden wird bei unruhigen Bewegungen der Maschine und mangelnder Übung schwierig. Dabei ist für die Kontrolle der Lage der Maschine der Führer fast lediglich auf das Auge angewiesen. Zwar machen sich Auf- und Abwärtsbeschleunigungen auch durch das Gefühl bemerkbar. Im übrigen ist die Wahrnehmung der Bewegungen durch das Gefühl verschieden, je nach der Lage des Führers gegenüber dem Maschinenschwerpunkt. Sitzt der Führer im Schwerpunkt der Maschine, so empfindet er die Drehbewegungen der Maschine nicht, diese Empfindungen sind um so stärker, je weiter der Führer vom Schwerpunkt entfernt sitzt.

Da die Bewegung der Luft in grösserer Höhe gleichmässiger ist als in Bodennähe, ist der Flug in 300 bis 500 m Höhe leichter als in geringerer Höhe. Man wird deshalb bei unruhiger Luft in grössere Höhen streben. Andererseits sind Übungsfahrten nahe dem Boden in 4 bis 10 m Höhe lehrreicher und gleichzeitig bis zu einem gewissen Grad weniger gefährlich.

Die Landung bei Wind erfolgt zweckmässig dem Wind entgegen, weil dann das Flugzeug gegenüber dem Boden eine kleine Geschwindigkeit besitzt. Dabei muss man in der Lage sein, die Richtung des Windes festzustellen. Das kann an der Bewegung des Grases, der Blätter, der Bäume, des Rauches geschehen, man kann diese Richtung aber auch in Ermanglung solcher Merkmale am Boden selbst feststellen. Beschreibt man über ihm eine Kurve, so wird sich die Maschine dann gegen die Windrichtung bewegen, wenn bei kleiner Geschwindigkeit gegenüber dem Erdboden alle Gegenstände sich auf die Maschine zuzubewegen scheinen; so lange man sich seitlich zum Wind bewegt, scheinen alle Gegenstände entgegen der Windrichtung schräg unter dem Flugzeug weg zu gleiten.

Es ist bekannt, dass die Windgeschwindigkeit mit der Entfernung vom Erdboden wächst. Geht eine Maschine aus grosser Höhe gegen den Wind nieder, so ist ihre absolute Geschwindigkeit um die Windgeschwindigkeit kleiner als die Flugge-

schwindigkeit. Mit dieser kleinen Geschwindigkeit kommt sie dann ständig beim Niedergang in Zonen mit geringerer Geschwindigkeit, wo für Aufrechterhaltung des Flugs die absolute Geschwindigkeit grösser sein sollte, infolgedessen wird die Maschine rasch sinken und den Steuern schlecht gehorchen. Der Vorgang kann besonders beim Gleitflug einen Absturz einleiten. Der Flieger redet in diesem Zusammenhang von „Löchern in der Luft". Es ist aus dem Gesagten der Schluss zu ziehen, dass es zweckmässiger ist (bei normalen Windverhältnissen, denn bisweilen nimmt auch die Geschwindigkeit der Luft in Bodennähe zu) mit dem Wind niederzugehen, wobei aber die Landung selbst doch gegen den Wind erfolgen sollte.

Alle Einflüsse, die durch die Veränderlichkeit und Ungleichmässigkeit der Luftbewegung, sowie durch die von der Horizontalen abweichenden Bewegungsrichtung der Luft bedingt sind, werden um so bedeutungsloser, je grösser die Geschwindigkeit

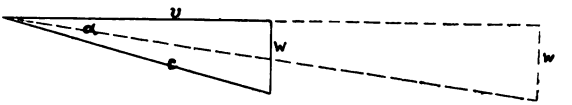


Fig. 17.

des Flugzeugs selbst ist. Erstens ist das in der in Bewegung befindlichen Maschine aufgespeicherte Arbeitsvermögen mit zunehmender Geschwindigkeit grösser (was freilich Abflug und Landung auch wieder erschwert), sodann spielt die absolute Veränderung der Grösse der Relativgeschwindigkeit zwischen Luft und Flugzeug prozentual eine um so geringere Rolle, je grösser diese Relativgeschwindigkeit ist. Der Einfluss eines Seitenwindes oder schräg von oben wehenden Windes, der sich mit der Flugmaschinengeschwindigkeit zu einer Relativgeschwindigkeit zusammensetzt, ist um so geringer, je grösser die Fluggeschwindigkeit selbst ist.

Hat man beispielsweise eine vertikale Windgeschwindigkeit w und eine Flugzeuggeschwindigkeit v, so setzen sich beide zu der Relativgeschwindigkeit c, Fig. 17, unter dem Winkel α zusammen. Das Flugzeug könnte diesen Wind, ohne in die Höhe

zu gehen, nur parieren, wenn es unter dem Winkel α nach unten fährt, wäre v doppelt so gross, so würde α nur ungefähr halb so gross sein.

Ganz Analoges gilt für einen seitlichen Windstoss.

L. Die Einzelteile des Flugzeugs.

Die Tragflächen.

Welchen Flächeninhalt die Tragflächen eines Flugzeugs aufweisen müssen und mit welchen Belastungen auf den Quadratmeter Tragfläche zu rechnen ist, das ist in den vorausgehenden Abschnitten ausführlich dargelegt.

Auch die Gesichtspunkte sind schon eingangs besprochen, die für den Querschnitt, den Umriss und die Modellierung der Tragfläche zu beachten sind, soweit sie die Kraftausnützung beeinflussen. Dazu kommen in einzelnen Fällen noch Gesichtspunkte, die mit der Stabilität der Maschine zusammenhängen und betreffs deren auf spätere Abschnitte verwiesen wird.

An dieser Stelle soll der konstruktive Aufbau der Tragflächen und die in der Tragfläche tätigen inneren Kräfte, von denen die Festigkeit der Tragfläche abhängt, besprochen werden.

Es leuchtet ein, dass die Tragfläche, wenn ihr Gewicht nicht übermässig gross werden soll, unter dem Einfluss des Luftdrucks so starke Beanspruchungen erleidet, dass sie Formänderungen ausgesetzt ist, d. h. also sich mehr oder weniger verbiegt. Eine solche Verbiegung muss man natürlich bei jedem Körper, an dem äussere Kräfte angreifen, in Kauf nehmen und es ist darüber kein Wort zu verlieren, so lange die Biegungen so gering sind, dass sich diejenigen Eigenschaften des Körpers, mit denen man zu rechnen hat, nicht ändern. In dieser Hinsicht ist für die Tragfläche, wie bekannt, die Querschnittsform von grösster Bedeutung und es ist für den Gesamteffekt demnach nicht diejenige Querschnittsform massgebend, die die Tragfläche im Ruhezustand aufweist, sondern diejenige,

die sie unter dem Einfluss des Luftdrucks annimmt. Besteht zwischen der Form der Tragfläche im Ruhezustand und in der Fahrt ein nennenswerter Unterschied, so ist die notwendige Folge, dass die Form sich auch weiterhin ändert; je nach der Stärke des Luftdrucks und je nach der Verteilung des Luftdrucks über die Fläche, denn schon die ersten Abschnitte haben gezeigt, dass der Luftdruck nicht gleichmässig über die Fläche verteilt ist, sondern je nach Umriss, Querschnittsform, Anstellwinkel usw. gänzlich verschiedene Verteilungen ergeben kann. (Damit wird der Wert der eingangs mitgeteilten Versuchsresultate um etwas herabgesetzt, denn in diesen Fällen hatte man es mit Flächen zu tun, die gegenüber den Kräften, die an ihnen wirkten, als starr anzusehen sind).

Die Formänderung der Tragfläche unter dem Einfluss der auf sie wirkenden Kräfte kann insofern eine verschiedene sein,

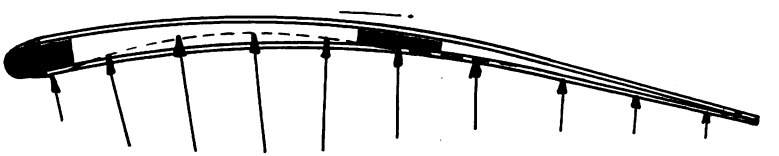


Fig. 18 a.

als sie von der früheren Form in einem solchen Sinn abweichen kann, dass die wirkenden Kräfte eine Vergrösserung erfahren, oder auch so, dass diese sich verkleinern.

Hat man z. B. eine Tuchbespannung zwischen mehr oder weniger festen Rahmen und eine Druckverteilung auf der Unterseite, entsprechend den eingezeichneten Pfeilen, Fig. 18 a, so wird die Tuchbespannung unter dem Einfluss des Luftdrucks zwischen den Rahmen in die punktierte Lage übergehen, die Wölbung zwischen den Rahmen wird also verstärkt und man wird auch, wenn die Rahmen selbst ihre Form nicht ändern, mit einer grösseren mittleren Wölbung rechnen müssen als zuvor. Mit der Wölbung wachsen aber die Luftkräfte. In dem Fall der Fig. 18 b ist der Rahmen selbst nicht steif, sondern in seinem hinteren Teil stark elastisch, er wird sich also unter dem

Einfluss der Luftkräfte in die punktierte Lage begeben, damit wird die Gesamtwölbung geringer, die Luftkräfte kleiner.

Bei ruhiger Luft sind diese Dinge für den Flug selbst gleichgiltig, sie könnten nur beim Entwurf eine Rolle spielen, insofern als mit diesen Formänderungen bei Berechnung der Hubkraft und des Rücktriebs usw. zu rechnen wäre. Bei unruhiger Luft spielen sie aber auch eine hervorragend praktische Rolle. Es war gezeigt worden, wie bei böigem Wind die Maschine gehoben wird und herabsinkt, je nachdem der Wind anschwillt oder abflaut. Es treten dann bald sehr grosse, bald sehr kleine Geschwindigkeiten der Maschine relativ zur Luft auf, die bald grosse, bald kleinere Auftriebe bedingen. Wenn nun unter dem Einfluss eines solchen vergrösserten, die Maschine in die Höhe werfenden Auftriebs sich die Wölbung

Fig. 18 b.

entsprechend Fig. 18 a noch vergrössert, so wird die Wirkung der Böe noch verstärkt, wenn aber entsprechend Fig. 18 b eine Verflachung eintritt, wird sie verschwächt. Ganz wird aber die Wirkung einer Böe dadurch nicht zum Verschwinden gebracht werden können, denn die Formänderung tritt nur unter dem Einfluss einer zunehmenden Belastung ein, der Luftdruck muss also zunehmen, damit die Wirkung zu Stand kommt. Die Zunahme wird aber wesentlich geringer sein als im ersten Fall. Man könnte daraus schliessen, dass es zweckmässig ist, die Tragfläche in ihrem vorderen Teil möglichst starr, in ihrem hinteren Teil möglichst elastisch zu machen. Man darf aber auch hierin nicht zu weit gehen.

Man muss im Auge behalten, dass die Tragfläche auch noch anderen Anforderungen gewachsen sein muss als der, Böen

zu widerstehen. Sie muss indirekt auch zur Steuerung dienen insofern, als die Steuer selbst ja in der Hauptsache nur dazu dienen, die Maschine zu drehen und die Tragfläche in eine den Verhältnissen entsprechende Lage zu bringen, so dass sich der Auftrieb entsprechend ihrer Lage erhöht und erniedrigt.

Ist die Tragfläche in dem zuvor festgestellten Sinn hervorragend elastisch, so weicht sie nunmehr auch einer Mehrbelastung aus. Die Steuerung wird damit träge, unter Umständen sogar gefährlich, indem durch die starke Änderung der Druckverteilung mit dem Anstellwinkel unvorhergesehene und unbeabsichtigte Wirkungen eintreten können. Man ist deshalb von allzu elastischen Flächen wieder abgekommen.

Je mehr sich die Tragfläche deformiert, um so weniger genau werden die früheren Rechnungen sein, weil diese auf der Annahme starrer Tragflächen fussen.

Die Druckverteilung in der Längsrichtung der Tragfläche ist derart, dass der Druck von der Mitte nach aussen etwas abnimmt. Man wird aber der Einfachheit halber mit einer gleichmässigen Druckverteilung rechnen, zumal eine solche Annahme im Sinne der Rechnung liegt. Da in der Mitte der Tragfläche die zu tragenden Lasten angreifen und ebenso der Schraubenvortrieb, so stellen die Tragflächen in der Mitte unterstützte, gleichmässig belastete Träger dar, und es stehen alle Mittel und Konstruktionen für den soliden Aufbau dieses Trägers zur Verfügung, die auch sonst für solche Träger verwendet werden, vorausgesetzt, dass sie für den vorliegenden Spezialfall geeignet sind, d. h. hauptsächlich geringes Gewicht und geringen Luftwiderstand bei hoher Festigkeit ergeben.

Handelt es sich um Doppeldecker, so liegt die Ausbildung der beiden Tragflächen als einheitlichen Fachwerksträger nahe. Dabei dürfte es fraglich erscheinen, ob man auch in diesem Fall für die beiden übereinander liegenden Tragflächen mit gleichen Flächenbelastungen rechnen kann. Aus den früher mitgeteilten Druckverteilungen für die Flächenmitte scheint jedenfalls hervorzugehen, dass die obere Fläche fast um die Hälfte mehr trägt als die untere.

Für solche Fachwerksträger sind verschiedene Stabanordnungen möglich und im Brückenbau, wo ja von solchen Trägern ausgiebiger Gebrauch gemacht wird, üblich. In den folgenden Figuren sind einige solche Stabwerksanodnungen aufgezeichnet, und es fragt sich nur, inwieweit sie für die vorliegenden Zwecke geeignet erscheinen. Die Träger nach Figur 19a sind zuerst für Doppeltragflächen angewendet worden. Sie bieten den zunächst verlockenden Vorteil, dass sämtliche schrägen Stäbe im Fluge nur Zugbeanspruchungen aufweisen, also aus Drähten ausgeführt werden können und somit geringes Gewicht und auch verhältnismässig geringen Luftwiderstand ergeben, während die senkrechten Stäbe gedrückt sind, dementsprechend bei ihrer grossen Länge

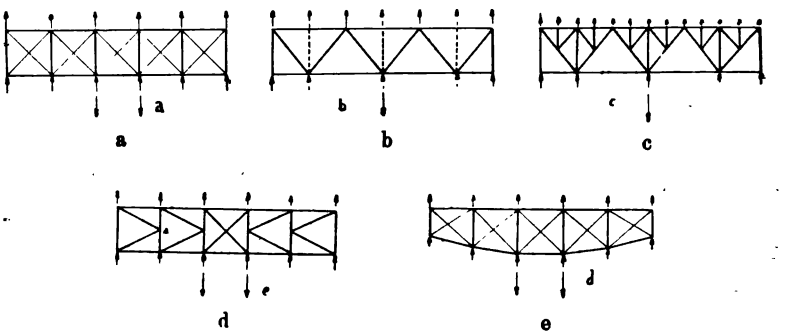


Fig. 19.

auf die Knickung berechnet, grosse Querschnitte erfordern. In Rücksicht auf die Festigkeit der Maschine bei der Landung müssen die Drähte doppelt über Kreuz eingezogen werden, Die wagerechten Stäbe, die oben liegen, sind gedrückt, die unteren im Flug gezogen. Beide sind ausserdem aber je zwischen 2 senkrechten Stäben gebogen, weil diese Stäbe ja gleichzeitig die Kanten der Tragfläche bilden, über die der Luftdruck gleichmässig verteilt ist. Je näher man die senkrechten Stäbe zusammenrückt, um so geringer wird die Biegungsbeanspruchung und Knickbeanspruchung in den horizontalen Stäben, um so grösser aber auch die Zahl der vertikalen Stäbe bei gegebener Spannweite, so dass der Vorteil gering ist. Man macht deshalb den Abstand der senkrechten Stäbe meist gleich ihrer Länge. Doch

finden sich auch grössere Abstände, wobei dann die Rücksicht auf geringen Luftwiderstand, gegenüber der Rücksicht auf geringes Gewicht überwiegt.

Nun hat die Verwendung von Drähten zu mancherlei Übelständen Anlass gegeben, wobei man allerdings im Zweifel sein kann, ob diese Übelstände in den Eigenschaften der Drähte an sich begründet sind oder in der Art ihrer Behandlung und Befestigung, worauf noch eingegangen werden wird. Jedenfalls war dieser Umstand Veranlassung, dass man zu Anordnungen nach Figur b an vielen Stellen überging, wobei keine Drähte sondern nur Stäbe verwendet werden. Dabei wird die Zahl der nicht horizontalen Stäbe nicht grösser als zuvor, ihre Länge aber grösser, weshalb sie dann auch grössere Querschnitte erfordern Ausserdem werden die zwischen zwei Knotenpunkten (das sind die Treffpunkte verschiedener Stäbe) liegenden Längen der horizontalen Stäbe grösser, womit deren Biegungsbeanspruchung grösser wird, so dass sich auch für die horizontalen Stäbe grössere Querschnitte nötig machen. Natürlich kann man die schrägen Stäbe steiler stellen, wodurch dieser letzte Übelstand beliebig weit herabgemindert werden könnte, man muss aber dann eine grössere Zahl von schrägen Stäben in Kauf nehmen. Man wird deshalb im allgemeinen den Winkel, den die Schrägen miteinander bilden zwischen 60° und 90° wählen.

Man kann auch, wie in Figur b punktiert angedeutet, ausserdem noch senkrechte Stäbe einziehen (was aber eine weitere Vergrösserung der Stabzahl bedeutet) und erhält dann für den am meisten beanspruchten Obergurt, der ja gebogen und ausserdem geknickt ist, günstigere Verhältnisse. Ob dieser Vorteil gegenüber dem Nachteil der grösseren Stabzahl ins Gewicht fällt, kann nur eine Einzeluntersuchung des speziell vorliegenden Falles entscheiden. Die Konstruktion ist aber sicher für Versteifung von Eindeckerflächen zweckmässig. Ein Stabwerk nach Figur c geht in dieser Hinsicht noch weiter, ist aber für Flugzeuge jedenfalls im Aufbau zu kompliziert. Ist die untere Tragfläche in der Vorderansicht gekrümmt, so ergibt sich ein Träger nach Figur e, der aber für die vorliegende Belastungsart nicht die Vorteile bietet, die man entsprechend seiner häufigen

Verwendung im Brückenbau, wo aber andere Verhältnisse vorliegen, erwarten könnte.

Wohl aber kann ein Träger nach Figur d von Vorteil sein, wenn man die grosse Stabzahl nicht scheut, insofern als er ermöglicht, die senkrechten Stäbe so zu formen, dass ihr Trägheitmoment (das für die Berechnung dieser geknickten Stäbe massgebend ist) in einer Ebene senkrecht zur Bildebene gross wird, in der Bildebene selbst jedoch klein. Solche Verhältnisse ergeben sich, wenn man dem Stab eine solche Form gibt, wie es die Rücksicht auf geringen Luftwiderstand erfordert. Es ergibt aber die Verbindung der Stäbe, die teils gedrückt teils gezogen sind, unter Umständen Schwierigkeiten und Komplikationen, ausserdem ist die grosse Stabzahl und das damit verbundene Gewicht ein Übelstand. Deshalb kann man die gedrückten und gezogenen Stäbe durch nur gezogene Drähte in doppelter Anordnung ersetzen, wenn man nach Figur 20 a verfährt. Man erhält dann allerdings eine Unzahl von Drähten, die zum mindesten einen verwirrenden Eindruck machen. Trotzdem werden derartige Konstruktionen ausgeführt. Einfacher und gleich zweckentsprechend ist dagegen eine Ausführung nach Figur 20 b, wobei ein Draht den Kreuzpunkt der Diagonalen jeden Feldes mit der Mitte der Vertikalen verbindet. Zur Abstützung der äussersten Vertikalen gegenüber dem Kreuzungspunkt der Diagonalen ist dann aber ein Stab nötig, wie durch die stärkere punktierte Linie angedeutet ist, oder der äusserste Stab muss versprengt werden.

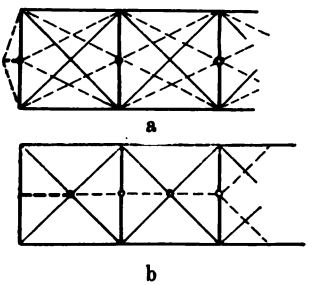


Fig. 20.

Wie die Bestimmung der in jedem einzelnen Stab auftretenden Kräfte vorzunehmen ist, kann hier nicht auseinandergesetzt werden.

Wohl aber ist über die in Rechnung zu setzende Belastung noch Einiges zu sagen. In der Regel werden bei Doppeldeckern zwei der beschriebenen Träger hintereinander gesetzt, so dass sich von der Seite gesehen ein Bild nach Figur 21 ergibt. Die Belastung entspricht dann den Pfeilen, und der auf jede Fläche

entfallende Druck kann durch eine Einzelkraft ersetzt werden, die durch den Schwerpunkt der von den Kraftpfeilen gebildeten Flächen hindurch geht. Diese Einzelkraft ist punktiert gezeichnet. Man wird dann die Träger so anordnen, dass sie von dieser Einzelkraft gleich weit abstehen, so dass jeder den gleichen Anteil der Gesamtlast zu tragen hat. Nun ändert sich aber, wie bekannt, die Druckverteilung mit dem Anstellwinkel. Infolgedessen wird je nach dem Anstellwinkel der eine Träger mehr belastet sein als wie der andere, ja bei kleinem Anstellwinkel kann die Gesamtlast auf den hinteren Träger kommen, und er muss dieser Beanspruchung gewachsen sein. Ausserdem wird aber, sobald der eine Träger näher an der resultierenden Einzelkraft liegt als der andere, in dem Fachwerk, das beide Träger zusammen bilden, ein Drehmoment auftreten, das den Träger im Querschnitt derart zu deformieren sucht, dass aus den Rechtecken schiefe Vierecke werden. Die Abweichung von der ursprünglichen Form wird an den Tragflächenenden am grössten und in der Tragflächemitte verschwindet sie. Die Tragfläche wird also von der Mitte nach aussen in sich verwunden. Diesem auftretenden Drehmoment muss die Tragfläche gewachsen sein, es ist deshalb auch in der Querrichtung eine Verspannung nötig. Diese kann entweder durch gekreuzte Drähte vorgenommen werden, oder durch einen schräg gestellten Stab, wenn Drahtverbindungen vermieden werden sollen.

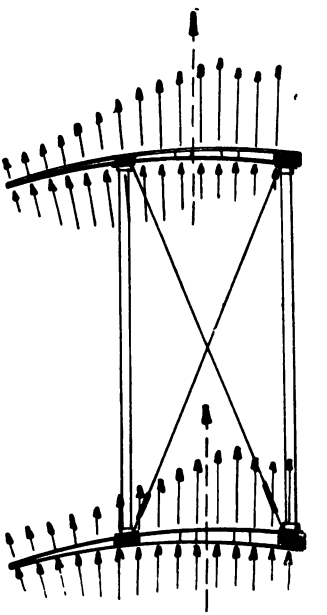


Fig. 21.

Man kann aber auch nur ein System von Stäben anwenden, also einen einzelnen Fachwerksträger. Da ein solcher aber in der Querrichtung so gut wie gar keine Festigkeit besitzt, so

sind dann in dieser Richtung noch Drahtverspannungen nötig, wie das in Figur 22 durch die Drähte d angedeutet ist, während T den Fachwerksträger im Grundriss darstellt.

In diesem Fall wird man den Fachwerksträger so anordnen, dass beim normalen Flug die Belastung in die Linie des Fachwerkträgers fällt. Der Obergurt und Untergurt muss dann, jeder für sich, in der Lage sein, ein auftretendes Drehmoment zu übertragen.

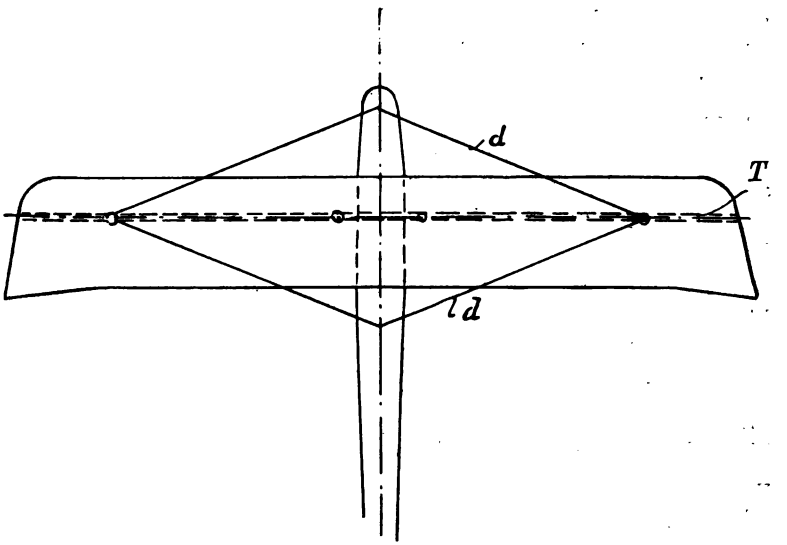


Fig. 22.

Ausser den Kräften im Flug treten noch anders geartete und anders gerichtete Kräfte bei der Landung auf, die sich als Massenkräfte darstellen und um so grösser sind, je heftiger der Aufprall auf den Boden ist. Es macht sich deshalb eine doppelte Berechnung des Trägers nötig, weil sich in diesem zweiten Fall ein Teil der Kraftrichtungen in den einzelnen Stäben umkehrt. Das gilt von Obergurt, Untergurt und den Schrägen.

Es wäre die Grösse der Kräfte festzustellen, mit denen die Rechnung durchzuführen ist. Es war früher gesagt, dass die grösste zu erwartende Kraft auf die Tragflächen bei Beendigung

eines Gleitfluges auftritt und etwa das vierfache der Kraft betragen wird, mit der bei horizontalem Flug zu rechnen ist.

Bei horizontalem Flug müssen die Tragflächen (von einer tragenden Schwanzfläche werde abgesehen) das Gesamtgewicht der Maschine tragen. Für ihre Biegungsbeanspruchung wäre aber das Gewicht der Tragfläche selbst nicht mit in Rechnung zu setzen, da es ebenso wie die Luftdrücke mehr oder weniger gleichmässig über dieselbe verteilt ist. Ist demnach G das Gesamtgewicht der Maschine und G_f das Tragflächengewicht, so wirkt an der Tragfläche bei horizontalem Flug das Gewicht $G - G_f$ auf Biegung. Ebenso wirkt bei Beendigung eines Gleitflugs die Kraft $4G - G_f$ biegend. Das Gewicht $G - G_f$ verteilt sich bei richtiger Anordnung und horizontalem Flug gleichmässig auf beide Längsträger, so dass auf jeden die Hälfte käme. Der hintere Träger wird, wie schon gesagt, bei flachem Anstellwinkel mehr als die Hälfte der Tragflächenkraft tragen müssen, unter Umständen die ganze Kraft $G - G_f$. Es fragt sich dann, ob er nicht entsprechend stärker als der vordere auszubilden wäre. Da er aber unter Umständen der Kraft $\frac{4G - G_f}{2}$ stand zu halten hat, so ist jedenfalls diese letztere Kraft für seine Berechnung massgebend. Diese letztere Kraft wird aber so liegen, dass sie auf beide Träger gleichmässig kommt. Das wird der Fall sein, wenn der vordere Träger in der Vorderkante der Tragfläche und der hintere ungefähr in $^4/_5$ der Tragflächentiefe angeordnet ist.

Die Massenkräfte wird man gut tun, zu dem dreifachen Wert des Gewichts zu veranschlagen, so dass für die Landung mit einer Belastung von $4\,G_f$ zu rechnen wäre. Bei ungeschickter Landung sind allerdings oft bedeutend grössere Kräfte wirksam, sodass der Wert von $4\,G_f$ auch überschritten werden kann.

Wenn man mit diesen Belastungen rechnet, so wird man andererseits nicht nötig haben, mit den im Maschinenbau sonst üblichen Sicherheiten zu rechnen, ja man wird im Interesse eines brauchbaren Gewichts mit diesen Sicherheiten gar nicht rechnen dürfen. Man wird sich vielmehr, gleichmässiges Konstruktionsmaterial vorausgesetzt, mit einer doppelten bis dreifachen Sicher-

heit begnügen können, womit dann die Sicherheit, bezogen auf die Normalbelastung, bei horizontalem Flug eine acht- bis zwölffache wäre.

Es war gesagt worden, dass man in der Längsausdehnung der Tragflächen mit einer gleichmässigen Verteilung des Luftdrucks rechnen könne. Daraus folgt, dass bei konstanter Flächentiefe die in der Tragflächenmitte auftretenden Biegungsmomente bei feststehender Flächentiefe mit dem Quadrat der Tragflächenklafterung wachsen und dementsprechend starke Gurtungen verlangen. Man könnte, um die Gurtungen leicht halten zu können, die Trägerhöhe, d. i. den Abstand beider Tragflächen, vergrössern, doch ist man hierin in doppelter Hinsicht beschränkt. Einmal in Rücksicht auf die äusseren Abmessungen der Maschine, die nicht ins Ungemessene wachsen können, sodann durch Rücksichten auf die gute Wirkung beider Flächen. Schliesslich wird auch das Gewicht und der Luftwiderstand der senkrechten Stäbe um so grösser, je grösser der Abstand der Gurtungen wird. Man wird also auch in dieser Hinsicht über eine bestimmte Grösse nicht hinauskommen. Wendet man nicht eine gleichbleibende Flächentiefe an, sondern macht diese veränderlich, indem man nur die mittlere Flächentiefe auf dasselbe Mass bringt, das zuvor für die gesamte Fläche galt, so werden die Biegungsmomente in Tragflächenmitte, wie klar, um so kleiner, je geringer die Tragflächentiefe an den Enden und je grösser sie dementsprechend in der Mitte ist. Im Grenzfall verhalten sich diese Biegungsmomente bei Verwendung dreieckiger Tragflächen gegenüber der Verwendung rechteckiger wie 2 : 3 und dementsprechend können die Gurtungen schwächer ausgeführt werden.

Das Konstruktionsmaterial für das Tragflächenfachwerk ist heute in der Regel Holz, speziell Fichtenholz, in einzelnen Fällen Stahlrohr. Über die Vorteile und Nachteile der verschiedenen Baumaterialien und ihren Einfluss auf die Leistung ist schon an anderer Stelle gesprochen. Dieses Stabwerk wird stets im Wind liegen, es kommt also nicht allein der Einfluss auf die Grösse des Gewichts, sondern auch der Einfluss des Konstruktionsmaterials auf die Grösse des Stirnwiderstands in Betracht.

Nach den früheren Darlegungen ist in dieser Hinsicht Holz weniger vorteilhaft als dünnwandiges, hochwertiges Stahlrohr. Die Überlegenheit des Holzes liegt in erster Linie darin, dass es grössere Massenkräfte infolge Formänderung in sich aufnehmen kann und dass seine Formänderungen, absolut genommen, grösser sind. Dem steht wiederum der Nachteil gegenüber, dass das Holz sich bei Änderung seiner Feuchtigkeit verzieht. Das sucht man durch geeignete, für Feuchtigkeit undurchlässige Lackierung und Imprägnierung zu verhindern. Diese Abhilfe kann aber kaum eine vollkommene sein. Das Verziehen des Holzes ist allerdings vielleicht für das Fachwerk der Träger weniger von Bedeutung als für die Tragflächen selbst und ihre Querschnittsform.

Sollen die beiden die Luftkräfte aufnehmenden Träger gegen Verdrehungen, wie sie ja nach dem Gesagten auftreten müssen, entsprechend fest sein, so müssen beide Träger auch durch einen horizontalen Verband miteinander verbunden sein. Dieser Verband kann ebenso wie das Hauptfachwerk in verschiedener Stabanordnung ausgeführt werden. Jedoch sprechen bei der Ausbildung dieses Verbands in der Regel noch andere Konstruktionsaufgaben mit. Es dient dieser Verband gleichzeitig zur Formgebung des Tragflächenquerschnitts.

Hierfür werden in Abständen von 10 bis 30 cm an die Trägergurtungen Rippen oder Spiren angefügt, deren Form dem gewünschten Tragflächenquerschnitt entspricht. Diese Rippen übertragen demnach die auf die Tragfläche wirkenden Kräfte auf die Gurtungen der Fachwerksträger, während sie selbst durch den Luftdruck auf Biegung beansprucht sind. Jede Rippe hat den Anteil des Luftdrucks zu tragen, der auf das zwischen zwei Rippen liegende Feld der Tragfläche entfällt. Dabei wird der Luftdruck durch die Tuchbespannung auf die Rippen übertragen. Da das Tuch sich nur auf der Unterseite gegen die Rippen anlegt, auf der Oberseite aber infolge des Unterdrucks auf der Oberseite der Tragfläche von der Rippe abgehoben wird[1]), so muss, wenn das Ober- und Untertuch gleichmässig

[1]) Der tatsächliche Zustand wird im Einzelfall vorschieden sein können und liegt keinesfalls fest, wenn nicht besondere Vorkehrungen getroffen

tragen sollen, das Obertuch an den Rippen befestigt werden. Zu diesem Zweck wird es meist auf die Rippen aufgenagelt (wie auch das Tuch der Unterseite) und zum Schutz gegen die Nagelköpfe eine dünne Holzleiste zwischen beide gelegt. Eine solche Befestigung ist aber nicht empfehlenswert, die Nägel stellen kein geeignetes Befestigungsmittel dar, um Kräfte in Richtung ihrer Längsachse zu übertragen. Hält ein solcher Nagel nicht stand und wird vom Tuch herausgezogen, so folgt bald der zweite und dritte nach. Damit bläht sich das Obertuch dann auf, und nicht nur die Tragflächenform wird damit eine andere als zuvor, sondern auch die Kräfteverteilung.

Es scheint demgegenüber richtiger, nur durch das Untertuch die Kraftübertragung vorzunehmen und das Obertuch nur als Hülle dienen zu lassen. Das wird erreicht, sobald man Vorkehrungen dafür trifft, dass der Luftdruck zwischen den Tüchern dem Druck auf der Oberseite entspricht. Eine solche Vorkehrung besteht z. B. darin, dass man am hinteren Rand Löcher im Obertuch anbringt.

Die Rippen können sehr verschieden ausgebildet werden. Werden sie aus einem Stück hergestellt mit einem beliebigen geeigneten Querschnitt, unter Umständen mit Aussparungen im Steg, so kann betreffs ihrer Berechnung kein Zweifel bestehen. Man wird der Einfachheit halber die Berechnung so vornehmen, als ob das zwischen den Pfosten liegende Stück ein an seinen Enden frei aufliegender Träger wäre, der entsprechend der Verteilung des Luftdrucks über diesen Teil des Querschnitts belastet ist. Das über die Pfosten überragende Stück wird man als einen eingespannten Träger rechnen können.

---

sind. Sind beide Tücher gleich durchlässig für die Luft, so wird zwischen beiden ein Druck herrschen, der das Mittel zwischen dem Druck auf Unter- und Oberseite ist. Die Unterseite drückt sich demzufolge ein und die Oberseite bläht sich auf, beide tragen; je durchlässiger die Unterseite im Vergleich zur Oberseite ist, um so mehr trägt die Oberseite im Vergleich zur Unterseite und umgekehrt. Im Laufe der Zeit wird meist die Oberseite, wenn sie nicht gummiert ist, undurchlässiger werden wie die Unterseite, infolge der Einwirkung von Staub, Nässe und Öl, ist sie gummiert, so wird sie infolge derselben Einwirkungen, zu der noch Sonnenbestrahlung hinzukommt, durchlässiger als die Unterseite werden.

Unsicherer wird die Rechnung, wenn die Rippe aus mehreren, durch Klötze miteinander in Verbindung gebrachten Leisten besteht. Es ist klar, dass sich die Leisten zwar gegenseitig unterstützen, dass aber doch die Verbindung zwischen beiden nicht eine solche ist, dass beide wie ein einheitlicher Querschnitt behandelt werden können.

Es entsteht durch Einfügen der Rippen in die Gurtungen ein Stabgerippe, das die Form der Tragfläche wiedergibt. Es war gesagt worden, dass die Träger auch durch einen horizontalen Verband verbunden sein müssen. Diesen Verband geben somit die Rippen ab. Es wird aber gut sein, an den Knotenpunkten der Hauptträger stärkere Rippen zu verwenden und auch, wenn das nicht geschieht, durch überkreuz gezogene Drähte dem horizontalen Verband Steifigkeit zu geben. Man erhält so ausser den vertikalen Hauptträgern horizontal liegende Träger, die in der Hauptsache durch die Horizontalkomponente der Luftkräfte, also den Rücktrieb, belastet werden.

Über das Gerippe wird dann Tuch gespannt, über dessen Befestigung an den Rippen schon gesprochen wurde. Dieses Tuch wird am hinteren Ende der Tragfläche an einem die Rippenenden verbindenden Draht befestigt. Man wird das Tuch beim Aufbringen auf die Verrippung möglichst stark anspannen, damit es sich bei der Einwirkung des Luftdrucks nicht zu stark durchwölbt. Diese Tuchspannung, die dann durch die Einwirkung des Luftdrucks noch vergrössert wird, ist einerseits von dem Gurt an der Vorderkante der Tragfläche, andererseits von dem Draht an der Hinterkante aufzunehmen. Ersetzt man die Luftkräfte p_1 und p_2, Fig. 23, durch die Einzelkräfte P_1 und P_2, so leuchtet es ein, dass an den Enden des Tuchs bei A und B Kräfte wirken müssen, deren Resultierende so gross wie P_1 bzw. P_2 ist und ihnen nach Richtung und Lage entgegenwirkt. Diese Kräfte S sind im Vergleich zu den Kräften P sehr gross, weil sie unter sich, entsprechend der Tragflächenform, nur einen kleinen Winkel einschliessen; sie setzen sich einerseits an den vorderen Gurt, andererseits an dem hinteren Draht ab. Man erhält damit im Grundriss, Fig. 24, Kräfte, die weit grösser sind als die Maschinengewichte, da diesen Gewichten ja nur die

Kräfte P entsprechen, und es ergibt sich eine horizontale Biegung des vorderen Gurts bei einer freien Balkenlänge a. Diese Biegungsbeanspruchung wird demnach um so kleiner, je kleiner

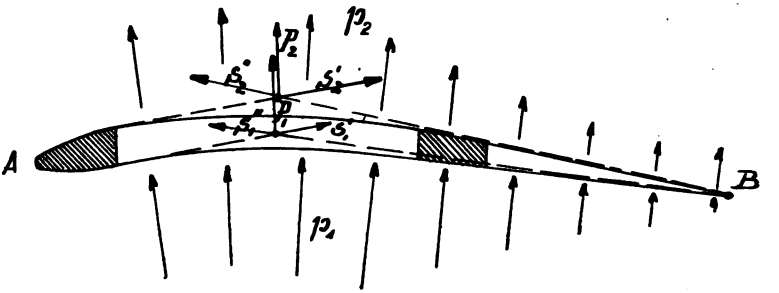


Fig. 23.

die Teilung a der Rippen ist. Der hintere Draht aber erhält einen Durchhang und daraus resultierend eine Zugbeanspruchung, die gleichfalls um so grösser ist, je grösser die Teilung a, und ausserdem je geringer der Drahtdurchhang ist. Die Summe

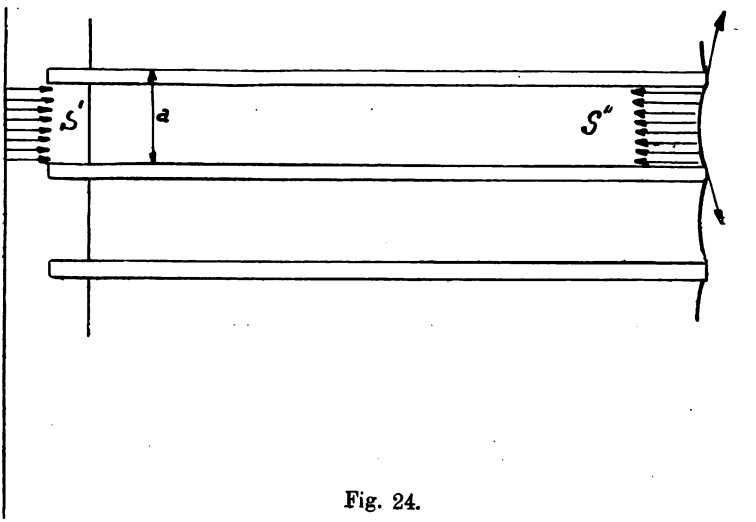


Fig. 24.

aller Kräfte S' bzw. S'' beansprucht dann schliesslich die Rippen auf Knickung.

Man sieht, es handelt sich um ein ziemlich verwickeltes

Kräftespiel, das zum grossen Teil durch die Tuchbespannung verursacht ist. Ersetzt man sie durch steife Platten, so werden die genannten Kräfte S usw. nicht auftreten, dafür aber Biegungsbeanspruchungen in den Platten selbst.

In vieler Hinsicht unterscheidet sich der Tragflähcenaufbau für Eindecker nicht von dem für Doppeldecker beschriebenen. Der einzige Unterschied besteht in der Ausbildung der Hauptträger. Man könnte im Prinzip genau denselben Hauptträger wie für Doppeldecker verwenden, wenn man nur am Ober- oder Untergurt des Trägers schliesslich eine Tragfläche anbringen würde. Man würde aber dann mit Stirnflächen von gleicher Grösse wie bei einem Doppeldecker zu rechnen haben und hätte trotzdem nur eine halb so grosse Tragfläche. Es ist aber ausführlich auseinandergesetzt, welche bedeutende Rolle der Quotient $\frac{S}{F}$ spielt, d. h. das Verhältnis der Stirnwiderstände zur Tragflächengrösse. Deshalb wird man bestrebt sein müssen — ganz besonders beim Eindecker mit seinem relativ geringen Flächeninhalt — S möglichst klein zu halten. Damit verbietet sich aber die Verwendung gleich umfangreicher Fachwerksträger.

Die Hauptwiderstände der Fachwerksträger geben jedenfalls die gedrückten Stäbe ab, während die gezogenen aus Draht, Drahtseil, Stahlband usw. hergestellt werden können und einen dementsprechend kleineren Widerstand darstellen. Man wird also gedrückte Stäbe, soweit sie nicht innerhalb der Tragfläche liegen, möglichst zu vermeiden und durch gezogene Stäbe zu ersetzen suchen. Man kommt so zu den sogenannten versprengten Trägern. Damit ist das Mittelstück in M, Fig. 25 a und c, S. 84, im grossen und ganzen schon durch den Maschinenrumpf nebst Fahrgestell gegeben. Es werden von möglichst tief liegenden Punkten dieses Gestells Drähte nach der Tragfläche gezogen zur Aufnahme der Luftkräfte und von möglichst hoch liegenden zur Aufnahme der Massenkräfte bei der Landung. Man wird bei der erforderlichen Maschinenklafterung, sollen nicht zu grosse biegende Kräfte in die Tragfläche kommen, die Tragfläche in mehreren Punkten stützen müssen, und erhält so zunächst die Anordnung nach Fig. 25 c. Wird hierbei der Winkel zwischen

Tragfläche und Spanndraht zu klein, so wird die Verspannung unwirksam, es kommen in die Drähte sehr grosse Zugkräfte und in die Tragfläche sehr grosse zusätzliche Druckkräfte. Der grösste Übelstand liegt dann aber darin, dass verhältnismässig geringe Längenänderungen und Dehnungen in den Zugorganen genügen können, um einen Flügel nach oben umklappen zu lassen oder wenigstens grosse Änderungen in bezug auf den Winkel des Flügels gegen die Vertikale herbeizuführen, so dass dann die Maschine dreht und dem Steuer nicht mehr gehorcht. Man wählt deshalb, wenn die Lage der Spanndrähte zu flach würde, besser eine Versprengung nach Figur 25 a, bei der noch vertikale Stützen auf den Tragflächen aufgesetzt sind, wodurch eine Vergrösserung der genannten Winkel möglich ist.

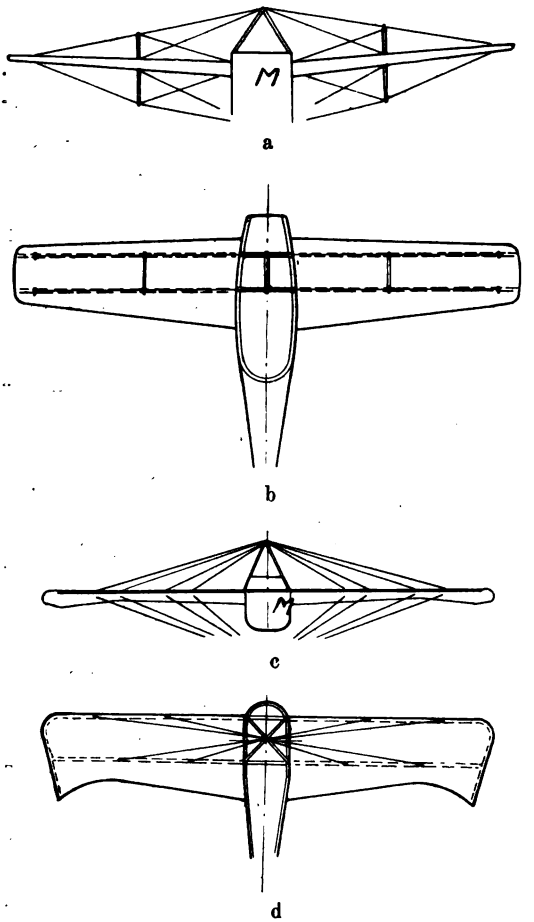


Fig. 25.

Es war schon bei den Tragkonstruktionen für Doppeldecker gesagt worden, dass auch Drehmomente auf die Flügel

wirken und durch die Tragkonstruktion aufzunehmen sind. Dementsprechend genügt eine Versprengung in einer Ebene nicht, es müssen vielmehr auch die hinteren Tragflächenpartien durch Spanndrähte gefasst werden. Diese Drähte kann man von demselben Punkt A wie die vorderen Drähte ausgehen lassen, so dass im Grundriss eine Anordnung nach Fig. 25 c entsteht, oder man kann zwei Stützpunkte A hintereinander anordnen und erhält dann zwei in zwei parallelen Ebenen hintereinander liegende Sprengwerke, wie in Fig. 25 b und a, angedeutet. Es leuchtet ein, dass solche Konstruktionen schwer wirklich starr, wie Doppeldeckerkonstruktionen, ausgeführt werden können und es werden dann meist noch weitere, oft sehr zahlreiche Drähte nach den verschiedensten Punkten eingezogen, um dem Ganzen den gewünschten Halt zu geben. Damit wird dann aber notwendig die Kräfteverteilung unklar und unbestimmt, und es fragt sich, ob es nicht zweckmässiger ist, die Tragflächen durch, wenn auch kleinere, Fachwerksträger zu stützen. Dieser Weg ist schon mehrfach beschritten. Man kann einen einzigen Fachwerksträger verwenden, der nur vertikale Kräfte aufzunehmen bestimmt ist, und die Drehmomente und horizontalen Kräfte durch Drahtverspannungen abfangen, womit freilich noch immer die Kräfteverteilung unklar bleibt. Man kann aber auch diesem Träger eine Ausdehnung in drei Dimensionen geben und ihn so zur Aufnahme aller wirkenden Kräfte geeignet machen. Man wird ihn dann, da er nur eine Tragfläche zu tragen hat, zweckmässig mit Dreieckquerschnitt ausbilden.

Die Steuerflächen stellen im Prinzip kleine Tragflächen dar. In der Regel werden entsprechend ihren geringeren Abmessungen einfachere Konstruktionen für sie gewählt. Bei ihrer Berechnung sind dieselben Gesichtspunkte wie bei Berechnung der Tragflächen selbst zu beachten. Es sollte jedoch bei ihrer Berechnung mit einer grösseren Sicherheit wie bei den Hauptragflächen gerechnet werden, weil für sie sehr grosse Luftkräfte beim Steuern in Frage kommen können, da man bei jeder Maschinengeschwindigkeit der Steuerfläche jede fast beliebige Neigung gegen die Bewegungsrichtung geben kann.

Allerdings weisen hier verschiedene Konstruktionen Unterschiede auf. Jedenfalls sollte eine Steuerfläche einen Luftdruck, der der doppelten Fluggeschwindigkeit entspricht, bei ihrer grössten Schräglage, ohne zu brechen, aushalten können. Man kann demgegenüber sagen, dass es unrichtig wäre, bei einer so grossen Geschwindigkeit der Steuerfläche einen so grossen Ausschlag, wenn auch nur für einen Moment, zu geben; dem wäre aber entgegenzuhalten, ob es richtig ist, einen Flugzeugführer als Strafe für eine solche unrichtige Handhabung dem ziemlich sicheren Untergang verfallen zu lassen. Es würde sich hierbei voraussichtlich um Abbremsung eines Gleitflugs handeln.

Ebenso wie die Berechnung der Tragflächen ihre Festigkeit im Flug gewährleisten muss, muss sie auch bei der Landung eine genügende Festigkeit besitzen. Sie wird dabei durch vertikal abwärts gerichtete Kräfte, die proportional ihrem eigenen Gewicht sind, belastet. Man kann mit einer gewissen Berechtigung freilich sagen, dass bei der Landung der Luftdruck auf die Tragflächen noch mindestens so gross sei, dass ihr Eigengewicht vom Wind getragen wird. Trotzdem werden aber die Massenkräfte in Erscheinung treten, sowie die vertikale Bewegung mehr oder weniger plötzlich unterbrochen wird und man wird, wie schon gesagt, gut tun, eine Belastung anzunehmen, die dem vierfachen Eigengewicht der Tragfläche selbst gleichkommt. Alle im Flug gezogenen Teile werden durch die bei der Landung auftretenden Kräfte gedrückt und alle gedrückten gezogen. Ordnet man aber die gezogenen Teile doppelt an, aber jeweils in anderer Lage, so bleibt die Belastungsrichtung der gedrückten Teile dieselbe (kreuzweise diagonalen, doppelte Versprengung nach oben und unten).

Wie man sieht, wird der Aufbau der Tragflächen bei Eindeckern oft einfacher ausgeführt wie bei Doppeldeckern, und man hat mit geringeren Stirnwiderständen zu rechnen. Es liegt nahe, zwei solche Eindeckerflächen zu einem Doppeldecker zusammenzufügen. Ansätze in dieser Richtung liegen in den Konstruktionen von Bregurt u. Anderen vor.

Eine Belastungsprobe von Tragflächen ist unter allen Umständen zu empfehlen. Am richtigsten wird sie in der Art

vorgenommen, dass man die Tragfläche umkehrt, so dass die Unterseite nach oben liegt und diese Seite mit Sand belastet, wobei das Ganze in der Mitte unterstützt ist. Durch Aufhäufen des Sandes kann man ziemlich genau eine Belastungsverteilung herbeiführen, wie sie dem Luftdruck entspricht. Das Gewicht des Sandes sollte dann das vierfache des von den Tragflächen zu tragenden Gewichtes sein.

Diese Belastungsprobe ist etwas umständlich. Eine andere, wenn auch nicht gleich genaue und gleich weitgehende Probe kann man in der Weise vornehmen, dass man die Tragflächenenden auf Böcke legt, so dass an ihnen das ganze Maschinengewicht hängt, die Maschine also nur von den Böcken getragen wird. In diesem Fall treten doppelt so grosse Biegungsmomente in der Tragfläche auf, wie im normalen Flug. Es entspricht aber die Kräfteverteilung in den einzelnen tragenden Organen nicht den Verhältnissen im Flug, insofern, als einzelne Teile u. a. weit über das doppelte belastet werden, was natürlich zu berücksichtigen ist. Durch eine weitere Belastung der Maschinenmitte kann die Beanspruchung der einzelnen Teile weiterhin gesteigert werden.

Das Fahrgestell.

Das Fahrgestell hat sämtliche Stösse der Fahrt am Boden und der Landung aufzunehmen. Es ist schon im Vorausgegangenen gesagt, dass man gut tut, für diese Stösse mit dem vierfachen Gewicht zu rechnen. Im Fall des Fahrgestells kommt als Gewicht natürlich das gesamte Maschinengewicht einschliesslich Führer und Fahrgäste in Betracht. Dabei spielt die Abfederung eine bedeutende Rolle insofern, als sie berufen ist, die auftretenden Kräfte auf ein brauchbares Mass herabzumindern.

Die Brauchbarkeit der Federung hängt ab von der Arbeit, die sie in sich aufzunehmen in der Lage ist, ebenso wichtig ist aber auch die Grösse des Federungsweges. Die Arbeit ist durch das Produkt Kraft mal Weg gegeben, je grösser der Weg, um so kleiner ist bei gleicher Arbeit die Kraft und sie ist es, die

schliesslich das Fahrgestell und die anschliessenden Teile beansprucht.

Ist die vertikale Geschwindigkeit der Maschine v_s, ihr Gewicht G, so muss bei der Landung die Arbeit $A = \frac{G}{g}\frac{v_s^2}{2}$ von der Federung aufgenommen werden. Ist der Federungsweg S und die Kraft, die nötig ist, um diese Durchfederung zu erzeugen K, so ist die Arbeit, die die Federung aufnimmt $A = \frac{S \cdot K}{2}$ so dass man erhält $\frac{G}{g}\frac{v_s^2}{2} = \frac{S \cdot K}{2}$. Man sieht, bei gegebenem v_s und G wird K um so grösser, je kleiner S ist und umgekehrt. Rechnet man mit dem 4fachen Gewicht als Beanspruchung bei der Landung, so ist

$$K = 4\,G, \text{ so dass man erhält}$$

$$G\,S + \frac{G}{g}\frac{v_s^2}{2} = \frac{4\,G \cdot S}{2} \text{ oder}$$

$$S + \frac{v_s^2}{20} = 2\,S$$

$$v_s^2 = 20\,S$$

Wäre unter diesen Voraussetzungen demnach $v_s = 1$ m/sec so müsste $S = 5$ cm sein. Wäre andererseits $S = 15$ cm, so könnte v_s betragen 1,7 m/sec.

Bringt man die Federung an den Radachsen direkt an, so steht als Federungsweg weniger als der Radhalbmesser zur Verfügung. Man kann deshalb einen Vorteil darin erblicken, solche federnden Teile zwischen Fahrgestell und Rumpf anzubringen, womit die Grösse des Federungsweges unbeschränkt ist. Eine weitere Federung, die vom entgegengesetzten Ende ausgeht, ist in der Art durchführbar, dass man die einzelnen Hauptgewichte jeweils für sich abfedert. Das wäre z. B. den Führer, den Motor usw. Es darf aber dabei nicht ausser Acht gelassen werden, dass jede Federung eine bestimmte Arbeit in sich aufnimmt, um sie nachher an den Körper, der diese auf sie übertrug, wieder abzugeben, d. h. ihn zurückzuschnellen. Das ist um so unbedenklicher, je geringer die Massen sind, die mit der Feder fest verbunden sind gegenüber den Massen, die ab-

gefedert werden. Sind jedoch die festverbundenen durch die betreffende Feder nicht abgefederten Massen sehr gross, so wird die gefederte Masse nach oben beschleunigt und die ungefederten Massen wirken dieser Beschleunigung entgegen, dadurch wird bewirkt, dass die Federung den nicht fest mit der Maschine verbundenen Führer wirft, was schon an sich unangenehm, unter Umständen nicht ungefährlich ist.

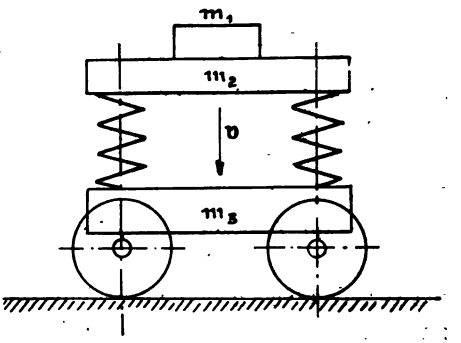


Fig. 26.

Kommen, um diesen Vorgang näher zu erklären, die Massen m_1, m_2 und m_3, wobei zwischen m_2 und m_3 eine Federung ist, mit der Geschwindigkeit v nach unten, so wird die Federung die lebendige Arbeit $A = \frac{m_1 + m_2}{2} \cdot v^2$ in sich aufnehmen, würde kein Verlust an Arbeit eintreten, so würden die Federn die Massen m_1 und m_2, nachdem sie A in sich durch Zusammendrückung aufgenommen haben, zurückschnellen und sie wiederum auf die Geschwindigkeit v vertikal nach oben beschleunigen. Haben nun m_1 und m_2 diese Geschwindigkeit wieder erlangt, so werden nunmehr die Federn gedehnt und die Masse m_3 dadurch gleichfalls nach oben auf die Geschwindigkeit v_1 beschleunigt. Da aber zwischen m_1 und m_2 keine Verbindung besteht, wird diese Beschleunigung nur durch m_2 bewirkt. Es ist dann

$$\frac{m_2 v^2}{2} = \frac{m_2 + m_3}{2} v_1^2 \text{ oder}$$

$$v_1^2 = \frac{m_2}{m_2 + m_3} v^2$$

Die Geschwindigkeit von m_2 und m_3 wird also nur v_1 sein, während m_1 die Geschwindigkeit v beibehält, beide Massen werden sich also notwendig trennen müssen. Ist der Beschleunigungsweg für m_3 vernachlässigbar klein, so wird m_1 ansteigen, bis das Arbeitsvermögen von m_1 durch die Hubarbeit

verzehrt ist und ebenso m_2 und m_3. Es wird m_1 steigen auf

$$h = \frac{v^2}{2g} \text{ und } m_2 + m_3$$

auf die Höhe $h_1 = \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v^2}{2g} \frac{m_2}{m_2 + m_3}$

Der Höhenunterschied beider wird also

$h - h_1 = \frac{v^2}{2g} \left(1 - \frac{m_2}{m_2 + m_3}\right)$. Er wird also um so kleiner, je kleiner m_3, die ungefederte Masse, ist.

Diese Übelstände würden nicht auftreten, wenn man die Federung so einrichtet, dass sie nur einmal und nur in einer Richtung wirkt (Federung mit Sperrung), wenn eine solche Vorrichtung im übrigen angängig und zweckmässig erscheint.

Von diesen Gesichtspunkten aus scheint es durchaus zweckmässig, das Gewicht der ungefederten Teile so klein wie möglich zu machen, denn der Führer ist bei irgendwelchem Unfall in der Maschine immer noch am besten geschützt, wenn nicht durch die Lage des Motors eine Gefahr droht. Es sollten alle Anordnungen vermieden werden, durch die die Möglichkeit gegeben ist, dass der Führer unter Umständen aus der Maschine geschleudert wird.

Die für Flugmaschinengestelle verwendeten Räder mit Drahtspeichen sind wohl zur Aufnahme grosser Kräfte, die in der Radebene wirken, geeignet, gegenüber Kräften senkrecht zur Radebene aber verhältnismässig wenig widerstandsfähig (das gilt übrigens in gewissem Mass für alle Räder). Man kann sie in dieser Hinsicht widerstandsfähiger machen, wenn man ihnen einen mässigen Sturz gibt, d. h. also, die Radebene unter einem kleinen Winkel gegenüber der senkrechten anordnet. Im anderen Fall muss man die Räder so anordnen, dass sie seitlich auf sie wirkenden Kräften ausweichen können. Das ist naturgemäss am leichtesten zu erreichen, wenn man die Federung direkt an der Befestigungsstelle der Räder anordnet. Die Möglichkeit, dass die Räder seitlichen Kräften ausweichen können, hat aber auch Übelstände im Gefolge, wenn eine solche Kraftwirkung nicht nur vorübergehend auftritt, weil dann die Ausweichung der Räder unter dem Einfluss der wirkenden Kräfte

sich ständig vergrössert, bis die Widerstandsfähigkeit der ganzen Verbindung erschöpft ist. Gerät z. B. ein Flugzeug, bei dem die Räder in der bekannten Weise mit Gummiringen gefedert angeordnet sind, am Boden rollend in einer zu engen Kurve seitlich ins Rutschen, so knicken die Räder seitlich um [1]).

Die Kraftübertragung von den Rädern auf den Maschinenrumpf geschieht in der Regel durch verhältnismässig weniger starke Stützen. Durch die anschliessenden Teile des Rumpfes wird die übertragene Kraft in eine grössere Anzahl Einzelkräfte zerteilt. Die wirkenden Kräfte bewirken an den Stützen des Fahrgestells Deformationen, die ihrerseits biegende Zusatzkräfte an den Anschlussstellen des Rumpfes zur Folge haben. Handelt es sich um Fachwerkverbindungen, so wird im allgemeinen bei der Berechnung mit Biegungen in den Fachwerksstäben (abgesehen in den Fällen, wo gleichmässig verteilte biegende Kräfte vorliegen, wie bei den Tragflächen) nicht gerechnet. Die übliche Berechnung der Fachwerke hat ja zur Voraussetzung, dass die Knotenpunktsverbindungen gelenkig seien, womit die Möglichkeit, dass Biegungsmomente durch die Knotenpunkte übertragen werden, ausgeschlossen ist. Diese Knotenpunkte werden dann aber fast ausnahmslos nichtgelenkig ausgebildet, so dass nunmehr infolge der auftretenden Formänderungen zusätzliche Biegungsbeanspruchungen auftreten, die um so grösser werden, je grösser die Formänderungen sind. Diese zusätzlichen Biegungsbeanspruchungen übertreffen, besonders an solchen Stellen, wo eine Einzelkraft sich infolge der Auflösungen des Stabwerks in eine grössere Anzahl von Kräften zerteilt, die rechnungsgemässen Beanspruchungen häufig um ein vielfaches. Dieser Fall liegt speziell an den Anschlussstellen des Fahrgestells an den Rumpf, sodann an denjenigen Stellen vor, von wo grosse Einzellasten in einem oder wenigen Punkten angreifen. Der Ausbildung dieser Stellen muss deshalb besondere Sorgfalt zugewendet werden.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass diese gefährlichen zusätzlichen Biegungsbeanspruchungen, deren rechnerische Feststellung ausserordentlich umständlich wäre, am einfachsten da-

[1]) Das ist nicht der Fall wenn die Räder um Vertikalachsen drehbar sind, sodass sie sich stets in die Bewegungsrichtung einstellen.

durch vermieden werden könnten, dass man die in Frage kommenden Knotenpunkte gelenkig oder sonst nachgiebig, d. h. halbgelenkig ausbildet. Das kann zum Beispiel unter anderem dadurch geschehen, dass man diese Stellen, abgesehen von der Hauptabfederung der Maschine mit einer Federung ausbildet oder dadurch, dass man die gesamte Federung an diese Stellen legt.

So findet man gefederte Führersitze, gefederte Verbindung zwischen Stützen und Kufen usw.

Zur Abfederung selbst können im Prinzip alle Materialien Verwendung finden, die befähigt sind, ein grosses Arbeitsvermögen in sich aufzunehmen. Die Grösse des Arbeitsvermögens A, das ein Körper in Folge seiner elastischen Formänderung in sich aufzunehmen vermag, ist gegeben durch den Ausdruck:

$$A = c \cdot \alpha \cdot k^2 \cdot V$$

worin c ein Koeffizient ist, der von der Art der Beanspruchung abhängig ist, α der Dehnungskoeffizient, k die Beanspruchung und V das Volumen ist.

In unserem Fall wird es immer darauf ankommen, dass das Gewicht G bei grossem A möglichst gering ist. Das Gewicht G ist aber

$G = V \cdot \gamma$, worin γ das spezifische Gewicht des betreffenden Körpers bedeutet, so dass man auch schreiben kann:

$$A = c\,\alpha \cdot k^2 \cdot \frac{G}{\gamma}$$

oder

$$\frac{A}{G} = c\,\frac{\alpha\, k^2}{\gamma}.$$

Dabei darf k einen für das betreffende Material zulässigen Wert nicht überschreiten. Dasjenige Material wird also, solange nicht noch andere Gründe gegen seine Verwendung sprechen, das geeignetste sein, für das $c\frac{\alpha \cdot k^2}{\gamma}$ möglichst gross ist.

Nun besteht in der Verwendungsmöglichkeit verschiedener Materialien ein Unterschied.

Stahl kann in Form von Blattfedern, die auf Biegung, oder in Form von Schraubenfedern, die auf Drehung beansprucht sind, verwendet werden.

Gummi wird in den üblichen Anordnungen auf Zug beansprucht.

Will man zur Abfederung Holz verwenden, so erscheint nur die Biegung als mögliche Beanspruchung in Frage zu kommen, eine Beanspruchung, der eine Verwendung in Form und Art der Blattfedern entspricht.

Vergleicht man eine Blattfeder aus Stahl mit einer solchen aus Tannenholz, so ist letztere ungefähr dreimal so günstig wie erstere. Eine stählerne Blattfeder wird gegenüber einer Schraubenfeder ca. 3 mal schwerer, jedoch ist sie in konstruktiver Hinsicht bequemer und es sind die notwendigen, zusätzlichen Konstruktionsgewichte wesentlich geringer. Abgesehen davon würde also eine stählerne Schraubenfeder einer hölzernen Blattfeder gleichwertig sein.

Vergleicht man eine stählerne Blattfeder mit einer Gummifederung, so erscheint die Gummifederung ca. 20 bis 25 mal leichter als die stählerne Blattfeder, bei gleicher Aufnahmefähigkeit. Man erhält dementsprechend folgende Verhältniszahlen:

Stahl		Holz	Gummi
Blattfeder	Schraubenfeder	Blattfeder	Zugfeder
1	3	3	20

Je grösser die Zahlen, um so grösser ist die Arbeitsaufnahmefähigkeit des betreffenden Organs bei bestimmtem Gewicht.

Danach scheint der Gummi den übrigen Baustoffen weit überlegen. Er hat aber den Nachteil, dass er seine Eigenschaften durch altern z. T. einbüsst, sodann, dass er eine sorgfältigere Behandlung insofern erfordert, als er nicht ständig unter Belastung gelassen werden darf, man kann oder soll also die Maschine im Schuppen nicht stehen lassen, ohne den Gummi zuvor zu entlasten, wenn er seine guten Eigenschaften nicht rasch verlieren soll. Ein anderer Übelstand liegt in dem grossen

Volumen, das eine solche Federung einnimmt. Man legt dann, um sie auf kleinem Raum unterbringen zu können, mehrere Gummilagen neben oder übereinander. Das ist bei Zugschnüren unbedenklich, wohl aber ist eine vielfach verwendete Anordnung zu verwerfen, die darin besteht, dass man bei Verwendung von Gummiringen, wie Figur 27 zeigt, mehrere Gummiringe übereinander legt. Es werden zu diesem Zweck von den Gummifabriken Ringe geliefert, die in ihren Abmessungen so abgestuft sind dass die einzelnen Ringe ineinanderhineinpassen, Figur b, werden nun diese Ringe, entsprechend Figur a, übereinander gelegt, so muss bei der Federung sich jeder Ring um dieselbe Strecke dehnen wie der andere, dabei ist aber die Länge (oder der Umfang) der inneren Ringe kleiner als die der äusseren, erstere werden also verhältnismässig mehr gedehnt als letztere und dementsprechend mehr beansprucht. Die Folge ist, dass entweder die äusseren Ringe nicht voll ausgenützt, oder die inneren übermässig beansprucht werden, so dass sie bald reissen. Es sollten deshalb nur bei grösseren Ringdurchmessern, oder bei geringer Ringdicke die Ringe übereinander gelegt werden und auch in diesem Fall nicht mehr als zwei Ringe.

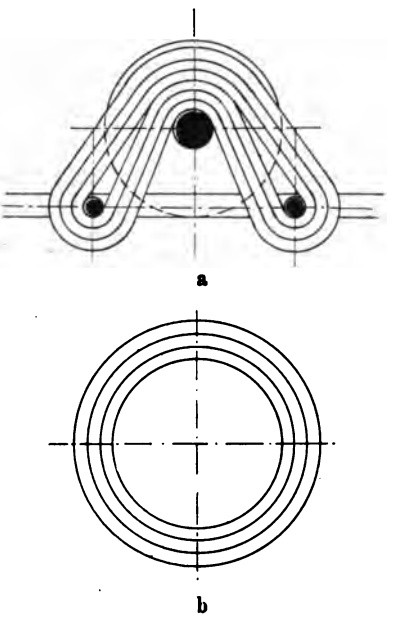


Fig. 27.

Nächst dem Gummi erscheint nach dem Vorausgehenden Holz als der geeignetste Baustoff für Abfederungen und doch stehen seiner Verwendung auch Bedenken gegenüber. Eine hohe Biegungsbeanspruchung für Holz anzuwenden ist deshalb immer gefährlich, weil die einzelnen Holzstücke nie eine grosse Gleichmässigkeit in ihrer Festigkeit aufweisen. Man müsste deshalb,

was bei Aufstellung der vorstehenden Verhältniszahlen nicht geschah, bei Verwendung von Holz zum mindestens stets mit einer höheren Sicherheit rechnen, wie bei Verwendung von Stahl. Sodann ist der Umstand immer im Auge zu behalten, dass Holz keine bleibende Formänderung besitzt. Es tritt also nicht, wie bei zähem Stahl, lange vor dem Bruch eine bleibende Verbiegung ein, durch die eine grosse Arbeit absorbiert wird, sondern ein glatter Bruch, was bei einem Fahrgestell Gefahren in sich schliessen kann. In dieser Hinsicht ist die Verwendung von Holz an einer ausschlaggebenden Stelle, wo unter Umständen mit unberechenbar grossen Beanspruchungen gerechnet werden muss, trotz allem nicht besonders empfehlenswert.

Verwendet man zur Abfederung Luftpuffer, so ist das Gewicht der eigentlich federnden Teile, das ist das Gewicht des in einem Gefäss eingeschlossenen Luftquantums Null, hingegen ist mit dem Gewicht des erforderlichen Gefässes zu rechnen. Deshalb ist eine nennenswerte Gewichtsersparnis mit einer solchen Anordnung nicht verbunden. Ganz abgesehen davon ist aber diese Anordnung in jeder Hinsicht im Gegensatz zu den gewöhnlichen Federungen recht empfindlich.

In den meisten Fällen besitzt ein Flugzeug nur 2 oder 4 Räder entweder auf einer Achse oder auf gesonderten 2 Achsen, die aber dann in einer Geraden liegen. Soll das Flugzeug nicht umkippen, so ist noch eine weitere Stütze nötig, damit eine Unterstützung in mindestens 3 Punkten gegeben ist. Als dritter Stützpunkt wird entweder eine Schleifkufe verwendet oder ein weiteres Rad, dessen Achse zu den Achsen der Haupträder parallel liegt. Der Schwerpunkt der Maschine muss dann zwischen den drei Stützpunkten liegen. Je höher der Schwerpunkt über den Rädern liegt um so weiter muss er auch in der Horizontalen von den vorderen Rädern zurückliegen, soll nicht bei unebenem Boden und den dadurch bedingten Stössen zu befürchten sein, dass die Maschine vorn überkippt. Da aber, sobald die Maschine in Bewegung ist, es möglich sein muss, damit der Anfahrwiderstand gering sei, das hintere Ende der Maschine anzuheben, so darf der Schwerpunkt auch nicht mehr als nötig hinter den Vorderrädern zurückliegen. Je weiter er

nämlich nach hinten liegt, um so grösser muss die Geschwindigkeit der Maschine sein, ehe mit Hilfe des Höhensteuers das hintere Ende der Maschine angehoben werden kann.

Je unebener und ungleichmässiger in seiner Beschaffenheit der Boden ist, auf dem angefahren werden soll, um so weiter muss der Schwerpunkt hinter den Rädern liegen, um so grösser muss aber dann auch das vom Höhensteuer auszuübende Moment sein, um die Maschine hinten anzuheben. Es können deshalb allgemein gültige Zahlen für das Verhältnis zwischen der Höhe des Schwerpunkts über den Rädern und der Entfernung des Schwerpunkts in der Horizontalprojektion von den Radachsen nicht angegeben werden. Doch kann im allgemeinen angenommen werden, dass, wenn h die Höhe des Schwerpunktes über den Rädern ist und a die horizontale Entfernung des Schwerpunkts von den Rädern sich h : a wie 5 : 1 bis 4 : 1 verhalten soll.

Je grösser die Klafterung der Maschine ist und je höher ihr Schwerpunkt über den Rädern liegt, um so weiter müssen die Haupträder der Maschine auseinander stehen, um so grösser also ihre Spurweite sein, es empfiehlt sich die Spurweite mindestens gleich 1,5 bis 2 h zu machen.

Der dritte Stützpunkt wurde früher ziemlich allgemein ganz an das Ende der Maschine gelegt und gleichfalls mit einem oder mehreren Rädern ausgerüstet. An Stelle dieser Räder wurden aber bald fast allgemein Schleifkufen verwendet. Das geschah deshalb, weil ja dieser Stützpunkt vom Boden abgehoben wird, sobald das mit Hilfe des Höhensteuers möglich ist. Aber trotzdem macht dieser dritte Stützpunkt leicht Schwierigkeiten und zwar deshalb, weil durch ihn verhältnismässig sehr grosse Kräfte auf den Rumpf übertragen werden müssen, sobald er nicht sehr stark gefedert ausgebildet wird. Eine solche starke Federung bedingt aber konstruktive Komplikationen, die man bei einem Maschinenteil, der nur so selten und vorübergehend in Wirksamkeit tritt, nicht gern in Kauf nimmt. Es kommt hinzu, dass der anschliessende Teil des Rumpfes entsprechend stark gebaut sein müsste, um die grossen Kräfte, wie sie durch eine mangelhafte Abfederung hervorgerufen werden, aufnehmen zu können.

Es kann zunächst überraschen, dass in diesen hinteren Stützpunkt überhaupt grosse Kräfte gelangen. Diese Kräfte werden weniger durch Stösse beim Rollen am Boden oder durch Auftreffen auf den Boden bei der Landung hervorgerufen, als vielmehr dadurch, dass die Maschine Drehungen um die Achsen der vorderen Räder ausführt und zwar z. B. nach dem Aufsetzen auf den Boden, bei der Landung, wo man, sobald das ohne erneutes Abheben der Maschine vom Boden angängig ist, die Tragflächen vorn aufrichtet, um einen möglichst kurzen Auslauf zu erhalten. Sodann können aber auch beim Anfahren grössere Mulden usw. im Boden bewirken, dass solche Drehungen der Maschine um die Achsen der vorderen Räder auftreten.

Sie bewirken dann stets, dass das hintere Maschinenende mit ziemlicher Heftigkeit auf den Boden aufstösst, denn infolge des grossen Abstandes, den der Schwanz von den vorderen Rädern besitzt, genügen schon verhältnismässig kleine Winkelgeschwindigkeiten, um grosse Umfangsgeschwindigkeiten am hinteren Ende der Maschine zu erzeugen.

Es sind zwei verschiedene Wege möglich, um diese Schwierigkeiten zu umgehen, die bis zu einem gewissen Grad beide auf dasselbe hinauslaufen. Entweder man legt den dritten Stützpunkt statt nach hinten nach vorn. Natürlich muss dann die Lage des Maschinenschwerpunkts gegenüber den Haupträdern sinngemäss geändert werden, und belässt die Maschine beim Anfahren in drei Punkten unterstützt. Voraussetzung ist dann aber, dass der nunmehr vorn liegende dritte Stützpunkt mit einem oder mehreren Rädern ausgerüstet und genügend abgefedert wird. Dieses vordere Rad muss dann verhältnismässig sehr kräftig sein. Die Konstruktion bedeutet demnach eine Vermehrung des konstruktiven Aufwands, ebenso wie — wenn auch nur in beschränktem Grad — des Aufwands an Baumaterial. Der Vorteil liegt hauptsächlich darin, dass dann alle Kräfte, die von den Stützpunkten auf den Rumpf übertragen werden, am vorderen Teil des Rumpfes angreifen, der von Haus aus verhältnismässig kräftig ausgeführt werden muss und dass eine Versteifung der drei Stützpunkte unter sich leicht durchführbar ist. Man kann aber auch die Anordnung der Haupt-

räder gegenüber dem Schwerpunkt belassen und rückt nur den dritten Stützpunkt vom Maschinenende weg näher an die Haupträder heran, so dass er gleichfalls am stärksten Teil des Rumpfs angreift. In beiden Fällen ragt dann der Maschinenschwanz frei in die Luft. Die Kräfte, die dann im dritten Stützpunkt wirken, sind dann wesentlich grösser als am Maschinenende, aber die Geschwindigkeit, mit der er selbst auf den Boden aufschlägt, ist um vieles kleiner, und es genügen kleine Federungswege, um eine ausreichend kräftige Federung herbeizuführen. Diese kleinen Federungswege bedingen grosse Kräfte in der Federung, je geringer aber die erforderlichen Federungswege sind, um so geringer wird der zu ihrer Erzielung nötige konstruktive Aufwand. Das über den dritten Stützpunkt hinausragende Rumpfende wird dann, sobald die Federung des dritten Stützpunktes in Wirksamkeit tritt, durch die am Rumpfende wirkenden Massenkräfte auf Biegung beansprucht und muss natürlich dieser Beanspruchung gewachsen sein. Die ganze Form des Rumpfes ist aber in den meisten Fällen für die Aufnahme solcher Beanspruchungen geeignet. Der Rumpf selbst wirkt dann, soweit er eine gewisse Durchfederung zulässt, gleichfalls als Federung gegenüber den an seinem Ende angebrachten, von den Steuerungsteilen usw. herrührenden Gewichten, unterstützt also die Federung, die an dem dritten Stützpunkt angebracht ist.

Ordnet man den dritten Stützpunkt vor den Haupträdern an, so bildet er gleichzeitig einen gewissen Schutz des Propellers (wenn dieser vorn liegt), wenn die Maschine nach vorn kippt, weil dabei der Propeller leicht auf den Boden aufschlagen kann. Dieser Schutz ist wirksamer und zweckmässiger, als der Schutz, der durch Anbringung einer Kufe erreicht wird. Eine solche Kufe erscheint nur als wirksamer Schutz, wenn sie in reichlichem Abstand von der Schraube angebracht ist, so dass, wenn sie bei einem heftigen Stoss auf den Boden brechen sollte, nicht unter Umständen das abgebrochene Ende in den Arbeitsbereich der Schraube kommt.

Gewöhnlich wird dann diese Kufe unter dem ganzen Fahrgestell durchgeführt, sie soll so einem doppelten Zweck dienen.

Erstens soll sie bei einem Radbruch verhindern, dass einzelne Stangen des Fahrgestells in den Boden stechen und so ein Umkippen der Maschine nach vorn veranlassen, sodann soll sie als Begrenzung der Federung und als Bremse wirken, wenn beim ersten Aufprall auf den Boden die Federung (die dann direkt an den Radachsen angebracht sein muss), so weit durchfedert, dass die Kufe den Boden berührt. Diese Bremsung, die nur einen Augenblick lang wirkt, ist natürlich nicht sehr energisch. An Stelle einer Kufe sind auch häufig zwei Kufen in Anwendung. Zwei Kufen sind jedenfalls im Falle eines Radbruchs zweckmässiger als eine Kufe, weil im letzteren Falle die Maschine sehr schräg liegen wird, und zum mindesten die Gefahr besteht, dass ein Tragdeckenende auf den Boden aufschlägt.

Wirksamer als die Bremsung durch die Kufen ist die Bremsung durch den dritten Stützpunkt, wenn derselbe hinter den Haupträdern angeordnet und nicht mit Rädern, sondern mit einer Schleifkufe ausgerüstet ist. Er ist dann um so wirksamer, je näher er bei den Haupträdern liegt, je grössere vertikale Kräfte also in ihm wirken. Auch in dieser Hinsicht ist es demnach zweckmässig, den dritten Stützpunkt nicht an das hintere Maschinenende zu verlegen. Die Wirkung einer solchen Schleifkufe, nahe bei den Haupträdern angebracht, lässt eine weit energischere Bremsung erzielen, als sie sonst durch Anbringung von besonderen Bremsorganen (Bremsklauen, Radbremsen usw.) erreichbar wäre. Immer kann aber — im Gegensatz zu gesonderten Bremsorganen — eine solche Bremsung nur wirken, wenn die Maschinengeschwindigkeit sich schon ermässigt hat, also ein Steilstellen der Tragflächen und Niederdrücken des Schwanzes nicht mehr ein Abheben der Maschine vom Boden bewirkt. Gesonderte Bremsorgane haben demnach auch ihre Berechtigung, wo man glaubt, nicht ohne Bremse auskommen zu können.

Konstruktionselemente.

Es soll im folgenden nicht eine Besprechung der einzelnen Ausführungen und Ausführungsmöglichkeiten für die verschie-

denen Einzelteile eines Flugzeugs gegeben werden, weil das über die Grenzen, die diesem Buch gesteckt sind, hinausginge, wie auch in den vorausgegangenen Abschnitten auf spezielle Konstruktionen nicht eingegangen ist. Es sollen vielmehr nur die mechanischen Gesichtspunkte, die bei der Ausbildung der Einzelteile zu beachten sind, genau in derselben Weise, wie das bisher geschehen ist, besprochen werden. Freilich liegt es in der Natur der technischen Probleme, dass mechanisch-technologische und allgemein technische Rücksichtnahmen so verquickt sind, dass häufig eine Trennnng nicht durchführbar ist, oder wenigstens eine Behandlung unter ausschliesslicher Betonung der mechanischen Gesichtspunkte durchaus unfruchtbar bleiben würde.

Dass, von wenigen Ausnahmen abgesehen, der Aufbau eines Flugzeugs einer Fachwerkskonstruktion entspricht, ist im Vorausgegangenen schon mehrfach dargetan. Dementsprechend bilden die Knotenpunkte des Fachwerks einen grossen und wichtigen Teil der Konstruktionselemente.

Im allgemeinen müssen natürlich die Knotenpunkte so ausgebildet werden, dass sich die Mittellinien der in ihnen angreifenden Stangen und Drähte in einem Punkt schneiden, denn jede Kreuzung dieser Linien oder ihrer Verlängerungen ausserhalb der Knotenpunkte bringt in die einzelnen Stäbe Biegungsmomente und damit Erhöhungen der Beanspruchung. Es war schon früher gesagt, dass strenggenommen die Anschlüsse der einzelnen Stäbe in den Knotenpunkten gelenkig sein müssten, wenn nicht durch die Formänderung der einzelnen Stäbe unter dem Einfluss der Belastung gleichfalls Biegungskräfte in den Stäben wirken sollten. Der Einfachheit halber wird man aber diese relativ kleinen Biegungskräfte in Kauf nehmen. Aber auch wenn der Anschluss der einzelnen Zug- und Druckstäbe in den Knotenpunkten nicht gelenkig ist (die relativ biegsamen Zugstäbe, die aus Draht, Drahtseil oder Stahlband hergestellt werden, können meist als gelenkiger Anschluss angesehen werden), so ist eine einwandfreie und vollständig befriedigende Konstruktion der Knotenpunkte nicht ganz einfach. Die Knotenpunkte werden verschieden auszubilden sein, je nachdem die Stäbe aus Holz oder Stahlrohr oder gar aus Bambus sind.

Meist lässt man die Gurtungsstäbe, das sind also die gewöhnlich horizontal liegenden, durchgehen, d. h. man unterteilt die Gurtungen in den Knotenpunkten nicht und fügt nur die unter einem Winkel auf die Gurtungen stossenden Stäbe durch geeignete Verbindungsmittel an.

Handelt es sich um hölzerne Stäbe, so werden sie entweder in Metallschuhe, die auf den Gurtungen befestigt sind, eingesetzt oder durch Laschen oder auch durch Schellen mit ihnen verbunden. In allen Fällen müssen einerseits die Schuhe oder Laschen an den Gurtungen, andererseits die Stäbe in diesen Zwischenteilen befestigt werden. Das geschieht in der Regel durch Holzschrauben. Diese Schrauben schwächen dann die Querschnitte. Wo angängig, ist deshalb eine Verstärkung der Stabquerschnitte an diesen Stellen zu empfehlen. Zwar könnte man auf solche Verstärkungen, von der Überlegung ausgehend, dass es sich um Stäbe handle, die auf Knickung berechnet sind, also nur in der Mitte zwischen zwei Knotenpunkten ihren vollen Querschnitt nötig haben, verzichten, es ist aber fast stets mit zusätzlichen Biegungsanstrengungen auch in den Knotenpunkten selbst zu rechnen, so dass eine Schwächung, wo irgend möglich, vermieden werden sollte. Das Gesagte gilt in erster Linie für die in den Knotenpunkten glatt durchgehenden, weniger für die unter einem Winkel aufstossenden Stäbe. Jedoch ist auch die Befestigung dieser Stäbe nicht ganz einfach, insofern, als die nächstliegende Befestigung durch eine oder mehrere zur Stabachse parallel liegende Holzschrauben jedenfalls nicht zu empfehlen ist, weil sie dann in das Hirnholz des Stabs zu liegen kommen, also eine sehr mangelhafte Verbindung darstellen. Werden die Stäbe durch seitlich eingezogene Schrauben gehalten, so ist darauf zu achten, dass die durch die Stäbe zu übertragende Kraft nicht durch diese Schrauben übertragen wird, sondern durch den Reibungsschluss oder die fest aufliegenden Stabenden.

Handelt es sich um die Verbindung von Stahlrohren, so scheint im ersten Augenblick die sogenannte autogene Schweissung hierzu ein vorzügliches Mittel zu bieten, weil dadurch die Stäbe ohne weiteres stumpf gestossen und geschweisst werden

können. In der Regel verwendet man kaltgezogene Stahlrohre. Diese Rohre erleiden aber durch die Schweissung bzw. durch das mit ihr verbundene Ausglühen der Rohre eine beträchtliche Einbusse an Festigkeit, so dass, wenn ein Bruch oder eine Knickung erfolgt, diese regelmässig an der Schweissstelle auftreten. Solche Knickungen treten dann häufig in Form einer wellenförmigen Faltung und Einbäulung der Rohrenden, an denen die Schweissungen liegen, auf. Es ist deshalb eine Verstärkung der geschweissten Rohrenden notwendig, wenn die volle Festigkeit des Rohres ausgenützt werden soll. Man kann bei geeignetem Material die Schwächung, die durch die Schweissung eintritt, zum Teil dadurch beheben oder mildern, dass man die geschweissten Stellen dunkelkirschrot glüht und dann abschreckt. Das Material darf dann aber nicht zu hart sein, weil es sonst beim Abschrecken spröde wird.

An den Knotenpunkten sind dann ferner die Anschlüsse für die Zugorgane in Form von Drähten, Drahtseilen oder Stahlbändern vorzusehen. Nicht zu empfehlen sind hierfür Drahtösen oder Haken, die wiederum in die Holzstäbe eingeschraubt werden müssen und so eine weitere Schwächung der Querschnitte bedingen. Es kommt hinzu, dass solche Ösen usw. unter Umständen nicht so angebracht werden können, dass eine biegungsfreie Ausbildung der Knotenpunkte möglich wird, d. h. dass die Zugorgane mit den Druckstäben durch einen Punkt laufen. Verwendet man für die Verbindung der Druckstäbe Schuhe oder Laschen, so ist es naheliegend, an ihnen gleichzeitig die Anschlüsse für die Zugorgane vorzusehen und meist wird so eine biegungsfreie Anordnung erreichbar sein. Es sei hier bemerkt, dass es nicht genügt, wie man nach Vorstehendem meinen könnte, wenn die Verlängerung der Zugorgane durch den Schnittpunkt der Druckstäbe hindurch geht, um zusätzliche Biegungen zu vermeiden. Es muss vielmehr auch das Verbindungsstück zwischen Zugorgan und Druckstab in die Richtung des Zugorgans fallen, der zum mindesten in dieser Richtung einen biegungsfesten Materialzusammenhang aufweisen muss, so dass höchstens in diesem Verbindungsstück Biegungsbeanspruchungen herrschen, dieselben aber nicht auf die Druckstäbe übertragen

werden. In diesem Zusammenhang ist z. B. eine Anordnung nach Fig. 28 a, sowohl die ausgezogen wie die gestrichelt gezeichnete, nicht einwandfrei, weil das Moment Pa durch den Gurtstab aufgenommen werden muss, während die Fig. b und c in dieser Hinsicht richtige Lösungen darstellen würden. Über die Befestigung der Zugorgane selbst in den Punkten e soll gesondert gesprochen werden.

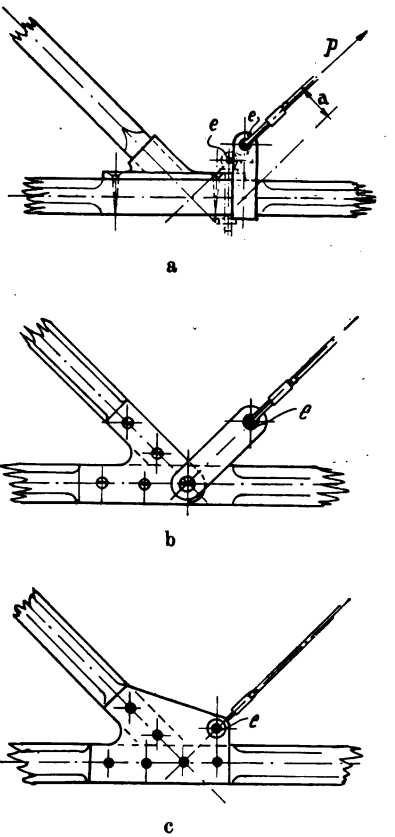


Fig. 28.

Handelt es sich um Druckstäbe aus Metall, so gilt im Prinzip ähnliches. Auch in diesem Fall sind die Verbindungen so zu wählen, dass Biegungen vermieden werden. Fürchtet man die Schwächung durch Schweissung, auf die schon hingewiesen wurde, nicht, so kann man im Übrigen brauchbare Lösungen der Aufgabe leicht erreichen durch Einschweissen geeignet geformter Eckbleche. Dabei sei erwähnt, dass eine Schweissnaht, die parallel zu der Rohrachse verläuft, ein Rohr nicht in gleichem Masse in seiner Festigkeit beeinträchtigt, wie eine Schweissung, die in einer Ebene senkrecht zur Rohrachse liegt, wobei auch der Umstand mitspricht, dass ein derartiges eingeschweisstes Blech das Rohr an der betreffenden Stelle verstärkt. Es darf aber nicht ausser Acht gelassen werden, dass solche in den Knotenpunkten eingeschweisste Eckbleche dazu beitragen, diese Knotenpunkte sehr starr zu machen, so dass bei weit-

gehender Formänderung vorhandener Zugorgane grosse zusätzliche Biegungsbeanspruchungen auftreten, die einen Bruch zur Folge haben können. Das kann eintreten lange ehe die auf Grund gelenkiger Ausbildung der Knotenpunkte berechneten Kräfte eine gefährliche Grösse erreicht haben, so dass dann die Festigkeit der betreffenden Stelle stark enttäuscht.

Würde es sich um eine Massenfabrikation handeln, so wäre jedenfalls empfehlenswert, die Knotenpunkte gesondert aus gepresstem Stahl herzustellen.

Es war früher von dem Gesichtspunkt der erforderlichen Motorleistung und Formänderungsarbeit aus erörtert worden, ob ein Aufbau der Maschine aus Holz oder aus anderem Material empfehlenswerter ist. In dem vorliegenden Zusammenhang kann diese Frage von praktischen Gesichtspunkten ausgehend erwogen werden.

Der Unterschied in der Verwendung von Holz oder Metall tritt besonders augenfällig zutag, wenn es sich um eine Überschreitung der in Aussicht genommenen Beanspruchungen, wie sie z. B. vor allem bei ungeschickten oder schwierigen Landungen auftreten können, handelt.

Ereignet sich ein solches Missgeschick bei einer Maschine aus Holz, so brechen die übermässig beanspruchten Teile und die Maschine ist, ehe sie nicht ausgebessert ist, gebrauchsunfähig, häufig nicht einmal ohne weiteres transportierbar. Eine aus Metall hergestellte Maschine weist unter Umständen nur einige verbogene Stäbe auf, die zunächst einfach wieder gerade gebogen werden können, vielleicht sogar ohne dass unter Umständen eine provisorische Weiterbenützung der Maschine ausgeschlossen wäre. Beinahe ausnahmslos wird aber — es handle sich denn um einen schwereren Absturz oder um einen Rad- oder Achsenbruch — die Maschine transportfähig bleiben.

Anders wird das Bild, wenn die Beschädigungen nicht oder nicht allein das Fahrgestell betreffen und wenn man die erforderlichen Ausbesserungsarbeiten im Auge hat. Bei der Maschine aus Holz sind gebrochene oder angebrochene Stäbe einfach durch neue der gleichen Art zu ersetzen, unter Umständen sind noch einige oder zahlreiche Zugorgane, die sich gedehnt

haben, nachzuspannen und die Maschine ist in ihrem früheren Zustand, ja unter Umständen wird man sich, was aber eigentlich nicht geschehen sollte, damit begnügen, gebrochene Stäbe zu leimen. Anders liegen die Verhältnisse bei der Maschine aus Metall. Zwar sind in den seltensten Fällen Stäbe gebrochen, um so grösser ist aber die Zahl der verbogenen Stäbe und es hält schwer, alle wieder so auszurichten, dass die Maschine in den früheren Zustand zurückkommt und nicht in irgend einer Richtung mehr oder weniger windschief wird. Das wird um so mehr der Fall sein, je mehr die Maschine in allen Teilen dieselbe Beanspruchung aufweist, weil um so weitgehender die Verbiegungen sein werden. Von diesem Gesichtspunkt aus ist es zweckmässig, einzelne entsprechend und mit Überlegung ausgewählte Stäbe höher zu beanspruchen, so dass, wenn schon ein Zusammenbruch stattfindet, er in diesen Stäben vor sich geht und die lebendigen Kräfte verzehrt, die übrigen Teile aber intakt bleiben. Im übrigen werden solche Verbiegungen um so weniger zu befürchten sein, ein je grösseres Arbeitsvermögen die Maschine infolge elastischer Formänderung in sich aufzunehmen vermag. Dass im Hinblick hierauf Maschinen aus Metall im allgemeinen und ohne besondere Vorkehrungen ungünstiger gestellt sind als Maschinen aus Holz, wurde früher schon erörtert. Auf diesen Mangel der Metallkonstruktionen wäre beim Bau der Maschine entsprechend Rücksicht zu nehmen, was in erster Linie durch eine möglichst nachgiebige Ausbildung der Knotenpunkte und der Zugorgane erreichbar erscheint, soweit darunter nicht andere Eigenschaften der Maschine leiden.

Der frühere Vergleich über die Formänderungsarbeit von Holz und Metall ging von der stillschweigenden Voraussetzung aus, dass bleibende Formänderungen von nennenswerter Grösse oder Brüche nicht auftreten. Handelt es sich aber um die Beschädigungen der eben besprochenen Art, so wird das Bild ein anderes. Die Arbeit, die ein Stab aus Stahlrohr in sich aufnimmt, wenn die Formänderung bis zum Bruch führt, ist ein Vielfaches der Arbeit, die ein gleichwertiger Holzstab im gleichen Fall verzehrt.

In der Ausbildung der Zugorgane herrscht noch recht

wenig Übereinstimmung. Von dem ursprünglich meist verwendeten Stahldraht ist man vielfach abgekommen, ebenso teilweise von der Verwendung von Stahlbändern und zwar in beiden Fällen wohl aus verschiedenen Gründen. Im Gegensatz dazu hat die Verwendung von Drahtseil zugenommen. Und doch scheint es fraglich, ob die Bevorzugung von Drahtseil dauernd sein wird. Stahldraht und, wenn auch mit Einschränkung Stahlbänder scheinen in Rücksicht auf die Ökonomie dem Drahtseil bei richtiger Detailkonstruktion weit überlegen.

Es fragt sich, was die Gründe sind, die zur Vermeidung von Drahtverspannungen geführt haben. Man wird finden, dass der Grund darin liegt, dass häufig Drahtbrüche vorgekommen sind, die zweifelsohne auch die Ursache manchen schweren Unfalles waren. Man schob die Schuld an den Drahtbrüchen auf die Ungleichmässigkeit des Materials und auf die Sprödigkeit des Drahtes. Und doch zeigen Festigkeitsproben, dass guter Stahldraht keineswegs ein ungleichmässiges Material darstellt und dass er auch nicht als spröde bezeichnet werden kann. Wohl aber ist die zweckmässige Befestigung des Drahts an den Anschlussstellen eine nicht einfache Aufgabe und es liegen hier nur wenige gute Lösungen vor, und diese Lösungen geben meist eine verhältnismässig teuere Ausführung. Es kommt ein zweites hinzu und das ist, dass, wenn der Stahldraht auch nicht spröde ist, er doch nur eine geringe Dehnung besitzt, die ungefähr nur ein Zehntel der Dehnung von Drahtseil darstellt. Infolgedessen ist die Formänderungsarbeit, die er aufzunehmen vermag und die er für andere mit ihm verbundene Teile zulässt, nur gering. Es will aber scheinen, als ob, sobald diese Mängel und ihre Folgen erkannt sind, eine Abhilfe durch entsprechende konstruktive Ausgestaltung möglich wäre, ohne deshalb das an sich und sonst gute Material zu verwerfen.

In der Regel findet die Befestigung des Stahldrahts in der Weise statt, dass auf irgend eine Art eine verhältnismässig enge Öse aus dem Drahtende gebildet wird, die in ein Loch in einem Blech, einem Haken usw. eingezogen oder um einen Stift herumgelegt wird. Die Prüfung solcher Verbindungen zeigt, dass der Draht in der Öse stets infolge Biegungsbeanspruchung

zuerst bricht, lange ehe solche Kräfte auf ihn wirken, dass der glatte Drahtquerschnitt zum Bruch käme. Daraus geht hervor, dass solche Befestigungen unzweckmässig sind. Die Biegungsbeanspruchungen werden um so grösser sein, je enger die Öse, je kleiner ihr Krümmungshalbmesser ist. Es wäre also zunächst Sorge zu tragen, dass solche kleine Krümmungshalbmesser vermieden werden. Konstruktionen dieser Art sind vielfach vorgeschlagen. Sodann muss das freie Drahtende auf irgend eine Art gesichert werden, damit sich die Drahtöse nicht aufzieht. Auch hier gibt es eine grosse Anzahl verschiedener Lösungen, aber nur wenige erweisen sich als vollständig zweckentsprechend. Auch in diesem Fall ist die Behandlung von Drahtseil um Vieles einfacher, ein geringer Krümmungshalbmesser ist gefahrlos infolge der grossen Biegsamkeit des Drahtseils, die Sicherung der Enden kann leicht durch Verspleisen oder durch Klemmschlösser erreicht werden. Am weitesten verbreitet, weil am bequemsten, ist bei Verwendung von Stahldraht die Sicherung der Drahtenden durch Überschieben eines Kupferröhrchens und Umbiegen des Drahtendes. Diese Befestigung ist sehr primitiv. Eine Prüfung zeigt, dass, wenn die Öse nicht von Haus aus ganz eng gezogen ist — was bei hartem und dickerem Draht schwierig wird — sich die Öse unter stärkerer Beanspruchung mehr und mehr durchzieht. Dadurch wird ein fortwährendes Nachspannen der Drähte und Nachrichten der ganzen Maschine notwendig. Ist das Kupferröhrchen nicht genügend starkwandig, so tritt bei weiterer Beanspruchung ein Aufreissen des Röhrchens ein, womit die ganze Verbindung gefährdet ist. Dem Durchziehen des Drahtes sucht man durch Einlöten in die Öse zu begegnen. Durch die Erhitzung leidet aber unter Umständen die Festigkeit des Drahtes. Von den gleichen Gesichtspunkten aus zeigen sich auch die meisten anderen Befestigungsarten als mangelhaft. Am richtigsten dürfte es sein, die Drahtenden durch Reibungsschluss zu sichern, wie ähnliche Konstruktionen für Drahtseile bekannt sind. Es liegt dann nahe, den so eingeklemmten Draht nicht mit einer aus dem Draht selbst gebildeten Öse an der Anschlussstelle zu befestigen, sondern das Klemmstück selbst an die Befestigungsstelle anzuschliessen.

Ähnliches wie für Drähte gilt für Stahlbänder. Sie sind nur insofern in konstruktiver Hinsicht den Drähten überlegen, als ein solcher Reibungsschluss auch durch Nietung möglich ist, und die grössere Oberfläche im Verhältnis zum Querschnitt eine solche Befestigung leichter ausführbar macht, aus dem gleichen Grund eine Lötung leichter und erfolgreicher durchführbar ist.

Stahlbänder haben vor Drähten den scheinbaren Vorzug, dass die im Wind liegende Kante im Verhältnis zum Querschnitt klein ist, also geringe Luftwiderstände zu erwarten wären. Die Erfahrung zeigt aber, dass ein solches Stahlband, besonders wenn es sehr dünn und breit ist, sich in der mittleren Partie quer zum Wind legt, auch wenn es straff angespannt ist. Der Grund braucht nicht weiter erläutert zu werden, er ist nach dem über den Druckmittelpunkt von Flächen Gesagten ohne weiteres klar. Hier könnte die Anbringung von Windfahnen oder besondere Ausbildung des Querschnitts Abhilfe schaffen. Es muss noch bemerkt werden, dass das straffgespannte Stahlband im Wind stark vibriert, weit stärker wie ein Draht und es scheint nicht ausgeschlossen, dass damit eine Erhöhung des Luftwiderstandes verbunden ist.

Es ist zum mindesten schwierig, die Zugorgane so herzustellen, dass sie genau die richtige Länge haben und eingefügt damit schon die nötige Vorspannung besitzen. Auch sollte die Möglichkeit bestehen, Nachspannungen vorzunehmen. Es werden deshalb in die Drähte Spannschlösser eingefügt. Diese Spannschlösser werden vielfach in der Mitte oder nahe der Mitte der Drähte angeordnet. Eine solche Anordnung ist aber, wenn nicht besondere Gründe vorliegen, zu vermeiden. Die verhältnismässig schweren Spannschlösser kommen an solcher Stelle leicht und häufig in starke Schwingung und rufen damit eine unnötige und unbeabsichtigte Beanspruchung der straff gespannten Drähte hervor. Man kann an im Gang befindlichen Maschinen bei entsprechender Drahtlänge die Spannschlösser um mehrere Zentimeter hin und her schwingen sehen. Diese Ausbiegungen des Drahtes sind nur durch entsprechende Dehnungen und damit Beanspruchungen möglich. Setzt man die Spann-

schlösser an die Anschlussstellen der Drähte, so fallen diese grossen Schwingungen fort. Man erreicht aber dadurch einen weiteren Vorteil insofern, als man dann nur zwei Befestigungsstellen für den Draht nötig hat, er also nicht unterteilt zu werden braucht, wodurch vier Anschlüsse nötig würden. Es empfiehlt sich deshalb, wo irgend angängig, die Spannschlösser direkt in den Knotenpunkten anzubringen.

Auch die Spannschlösser selbst stellen ein Konstruktionselement dar, dass noch einer wesentlichen Vervollkommnung, von Ausnahmen abgesehen, bedarf. Sie sind ein Handelsartikel, aber die meisten im Handel befindlichen Ausführungen sind nicht empfehlenswert. An den einen Stellen weisen sie zu viel, an anderen zu wenig Material auf. Bei Festigkeitsproben reissen die einen demzufolge im Mutterteil, wenn der Schraubenteil noch lange nicht an der Grenze seiner Haltbarkeit angekommen ist. Bei anderen Ausführungen tritt der entgegengesetzte Fall ein. Fast alle aber leiden an dem Mangel, dass sie an den Enden relativ viel zu schmale Ösen mit engen Löchern besitzen, an denen der Draht befestigt werden soll. In einer solchen Öse ist nur eine Drahtbefestigung derart möglich, dass durch das Loch der Öse der Draht hindurchgesteckt und umgebogen wird, wobei das freie Drahtende, wie zuvor beschrieben, gesichert werden muss. In den meisten Fällen wird dann der Fall so liegen, dass, wenn man einen Draht durch die Spannschlossöse zieht, der in seinem gezogenen Querschnitt dieselbe Festigkeit wie das Spannschloss besitzt, dieser Draht in der Öse infolge von Biegung bricht, lange ehe in ihm eine Zugkraft auftritt, die seinen gezogenen Teil zum Bruch brächte. D. h. also, soll das Spannschloss voll ausgenützt werden, so ist man gezwungen Spanndrähte zu verwenden, die einen grösseren Querschnitt besitzen, als für die Übertragung der auftretenden Kräfte nötig wäre, vorausgesetzt, dass man in allen Teilen gleiche Sicherheit anstrebt. Dazu sind die Spannschlösser mit ihren Ösen so ausgebildet, dass an beiden Seiten nur ein Drahtanschluss möglich ist, man ist also ohne Zwischenschaltung eines Stückes Draht nicht in der Lage, das Spannschloss, wie es als zweckmässig bezeichnet wurde, direkt an einem Knotenpunkt mit seinem einen Ende zu

befestigen. Es wird dabei nicht verkannt, dass Spannschlösser, die dieser letzten Forderung genügen, weniger leicht als Handelsartikel hergestellt werden können, weil in diesem Fall das eine Ende je nach der Anschlussstelle jeweils verschieden ausgebildet sein müsste, denn in dieser Hinsicht wird sich eine Einheitlichkeit schwer erreichen lassen.

Wie die Spannschlösser stellen auch die Laufräder samt Radachsen einen Handelsartikel dar. Sie sind ausnahmslos als Drahtspeichenräder ausgeführt und erfüllen in dieser Form auch ihren Zweck. Zur Verminderung des Luftwiderstandes kann man sie mit Blech einkleiden, eine solche Einkleidung wird aber ohne besondere Vorkehrungen mit der Zeit leicht klapperig. Man kann auch an Stelle der Drahtspeichen mit Blechverkleidung stärkere Bleche zur Verbindung zwischen Felge und Nabe verwenden, es dürfte aber eine solche Ausführung schwerer werden als die zuerst genannte. In den Preislisten sind die für die Räder zulässigen Belastungen gewöhnlich sehr hoch angegeben bzw. es ist dabei nicht mit den verhältnismässig schlechten Bodenverhältnissen gerechnet, denen diese Räder gewachsen sein müssen. Besonders die Radachsen sind hierfür meist reichlich schwach. Das ist zu beachten und dementsprechend, wo angängig, die Achsen in stärkerer Ausführung selbst anzufertigen oder mit der Belastung der Räder unter der als zulässig angegebenen Belastung zu bleiben.

Unter die wichtigsten Teile eines Flugzeuges zählen alle Teile, die zur Steuerung gehören und dazu dienen, die Steuerbewegungen des Führers auf die Steuerflächen zu übertragen Hierunter rechnen dann auch diejenigen Teile, die zur Regulierung usw. des Motors dienen. Die allgemeine Anordnung sollte, wenn irgend möglich, so sein, dass der Führer im normalen Fall eine Hand frei hat, ferner so, dass er alle Hebel die zur Motoreinstellung dienen, in leicht erreichbarer Nähe im Gesichtfeld vor Augen hat.

Die erste Forderung lässt sich nur erfüllen, wenn entweder alle Steuerbewegungen von einem Steuerhebel abgeleitet werden, wie z. B. bei den Maschinen von Grade, oder wenn die Füsse für die Betätigung eines Steuers mit benützt werden und mit

dem Steuerhebel ein Handrad verbunden ist, so dass hier mit einer Hand mindestens zur Not zwei Steuerbewegungen ausgeführt werden können. In gewisser Hinsicht dürfte dieser zweiten Anordnung der Vorzug zu geben sein, weil dabei die unbeabsichtigte und vielleicht unzweckmässige Kombination zweier Steuerbewegungen, wie sie bei der ersten Anordnung zum mindesten denkbar ist, ausgeschlossen erscheint. Trotzdem zeigen gerade die erfolgreichen Ausführungen mit einem einzigen Steuerhebel, dass diese Bedenken in Praxi keine so grosse Bedeutung haben, wie man im ersten Augenblick zu glauben geneigt ist.

Die Bewegungen, die mit den Hebeln ausgeführt werden müssen, sollen möglichst den Bewegungen entsprechen, die man mit der entsprechenden Steuerbewegung der Maschine erteilen will. Zur Bewegung der Steuer soll kein zu grosser Kraftaufwand nötig sein, um den Führer nicht unnötig zu ermüden, andererseits sollte im Steuer die Grösse des Luftdruckes und seine Veränderung fühlbar sein, doch gibt es auch erfolgreiche Konstruktionen, bei denen die Grösse dieses Druckes nicht fühlbar ist. Der Steuerausschlag soll nur so gross sein, dass der Führer ohne Änderung seiner Körperstellung ihn ausführen kann. Die Steuerhebel- und Räder sollen so angeordnet sein, dass bei einem harten Aufstoss der Führer nicht mit dem Gesicht in sie hineinstossen kann. Trägt der Steuerhebel oben kein Steuerrad, so soll er möglichst nicht vor dem Körper des Führers stehen, weil sonst in dem eben genannten Fall gleichfalls ernste Verletzungen möglich sind. Die Steuerhebel sollten so stark ausgeführt sein, dass die normale Kraft eines Mannes nicht ausreicht, sie zu zerbrechen, auch dann, wenn zu ihrer Betätigung ein weit geringerer Kraftaufwand genügt, denn in der möglichen Aufregung oder Hast eines kritischen Moments kann der Führer unter Umständen mehr Kraft aufwenden als Zweck hat und der Bruch des Hebels macht ihn dann zu einem verlorenen Mann. Dasselbe gilt von allen Zwischenteilen, die die Steuerbewegung auf die Steuer selbst übertragen.

Diese Übertragungsteile bestehen, von wenigen Ausnahmen abgesehen, aus Draht-, Drahtseil- oder Kettenzügen. Es gilt hier

zunächst sinngemäss alles, was über Drahtverbindungen und Drahtbefestigungen im Vorausgegangenen gesagt ist auch. Hier scheint das Drahtseil in mancher Hinsicht den Vorzug zu verdienen, doch sind ganz besonders hier die beim Drahtseil auftretenden grossen Dehnungen hinderlich.

Wo der Steuerzug nicht in gerader Linie fortgeführt werden kann, wird er häufig durch gerade und gebogene Röhren fortgeleitet. Das scheint aber mehr einfach als zweckmässig zu sein. Eine Kontrolle des Steuerzuges ist an diesen Stellen unmöglich und die Beanspruchung wird unter Umständen unnötigerweise ungünstig. Eine offene Verlegung die, wo nötig, in Rollen- oder Walzen geführt wird, verdient den Vorzug. Bei starken Abbiegungen müssten freilich grosse Rollen bzw. Walzendurchmesser verwendet werden, wenn der Steuerzug aus Draht besteht, während bei Verwendung von Drahtseil das nicht in gleichem Masse nötig wäre. In diesem Fall kann man die Drahtzüge an diesen Stellen durch ein eingesetztes Kettenstück unterbrechen. Ebenso kann man, wenn die Steuerzüge nur um kurze Strecken hin- und herbewegt werden müssen, die Änderung der Richtung durch Lenk- bzw. Winkelhebel herbeiführen. Alle diese Hilfsmittel werden schwerer aber auch einwandfreier als die Führung in einem Rohr. Zur Einstellung der Steuerflächen sind Spannschlösser in den Steuerzügen anzuordnen. Werden Lenkrollen für Steuerzüge verwendet, so muss Vorsorge getroffen werden, dass die Steuerzüge nicht aus den Rollen herausspringen können. Auch ist auf eine gute Lagerung und Befestigung der Rollen Bedacht zu nehmen, denn ebenso, wie von dem sicheren Arbeiten der anderen Teile, hängt die Möglichkeit der Lenkung der Maschine von der Zuverlässigkeit der Führung der Steuerzüge ab. Eine Gewichtsersparnis, die ja an diesen verhältnismässig kleinen Teilen nie sehr beträchtlich sein kann, darf hier keine Rolle spielen.

Die Lage des Führersitzes ist in der Regel durch die allgemeine Anordnung und Gewichtsverteilung gegeben. Man findet hier sehr weitgehende Unterschiede. In dem einen Fall sitzt der Führer auf einer Brücke weit vor der Maschine, der Sitz ragt also in die Luft frei hinaus, in dem andern ist er hinter

den Tragflächen angeordnet, zwischen diesen Fällen liegen beliebige Abstufungen. Es soll an diesen verschiedenen Anordnungen, für deren jede Vorteile und Nachteile angeführt werden können, keine Kritik geübt werden. Es will aber doch scheinen, als ob die Lage des Führersitzes in den meisten Fällen lediglich durch die Gewichtsverteilung und sonstige bauliche Gesichtspunkte bestimmt wäre, also in gewisser Hinsicht eine rein zufällige wäre. Wenn gesagt wird eine zufällige, so ist damit gemeint, dass die Lage des Führersitzes nicht nach den Gesichtspunkten, die eigentlich hierfür massgebend sein sollten, bestimmt wurde. Diese Gesichtspunkte sind gegeben in der Forderung eines möglichst ungehinderten Ausblickes geradeaus während der Fahrt und nach unten während der Fahrt und bei der Landung. Sodann sollte womöglich der Führer (oder unter Umständen der Fahrgast) den Motor sammt Zubehör und womöglich auch die Tragflächen vor Augen und unter Kontrolle haben können.

Schliesslich aber ergibt sich die Forderung, dass der Führer nicht sollte aus dem Sitz fallen können, sei es bei einem Absturz oder einer harten Landung. Schliesslich soll er in einem solchen Fall gegen schwere auf ihn niederbrechende Teile, wie den Motor, geschützt sein.

Es ist klar, dass es nicht leicht ist, all diesen Forderungen gleichzeitig gerecht zu werden, ohne unter Umständen gegen Forderungen, die sich aus dem sonstigen konstruktiven Aufbau und aus Forderungen der Ökonomie ergeben, zu verstossen. Damit, dass eine befriedigende Lösung schwierig ist, ist aber nicht gesagt, dass sie unmöglich ist.

Der Ausblick wird am günstigsten, wenn der Führer vor oder nahe der Tragflächenvorderkante sitzt, aber gerade in diesem Fall wird eine befriedigende Lösung der übrigen Forderungen mit Schwierigkeiten verbunden sein. Es kommt dabei leicht vor, dass der Führersitz um eine beträchtliche Strecke vom Schwerpunkt abrückt. Um so mehr wird deshalb bei plötzlichen Drehungen der Maschine um ihren Schwerpunkt der Führer geworfen. Das ist dann besonders misslich, wenn der Führersitz über die Tragfläche hinausragt, weil er dann auch von der zweiten in Betracht kommenden Drehachse, das

ist die Radachse, weit abzuliegen kommt. Eine fast notwendige Folgerung einer derartigen Anordnung ist dann die, dass der Motor hinter dem Führer angeordnet wird. Dadurch ist es für den Führer unmöglich, ihn im Auge zu behalten. Ist der Führer bei einer solchen Sitzanordnung schon an sich bei einer steilen Landung ziemlich exponiert, so droht ihm durch den niederbrechenden Motor in einem solchen Fall eine weitere Gefahr. Es muss in dieser Hinsicht gefordert werden, dass der Motor so befestigt und gegen den Führersitz abgestützt ist, dass ein Niederbrechen des Motors, von extremen Fällen abgesehen, ausgeschlossen erscheint. Für diese Abstützungen wäre also mit einer hohen, die der übrigen Teile übertreffenden Sicherheit zu rechnen. Es finden sich aber Ausführungen, bei denen eine genauere, die in einem solchen Fall vorliegenden Verhältnisse berücksichtigende Rechnung nur eine 10fache Sicherheit gegenüber der rein statischen Beanspruchung zeigt.

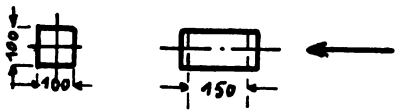
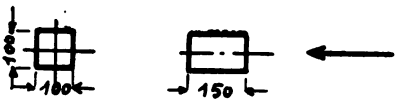
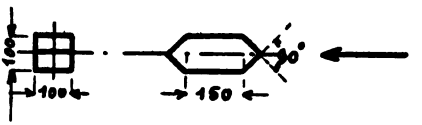
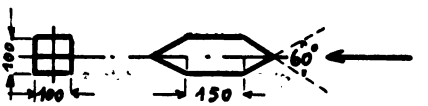
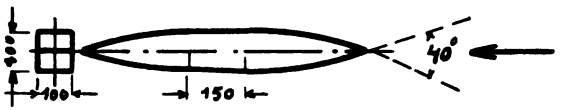
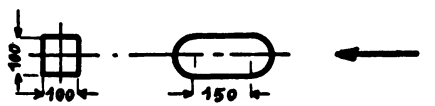
Um den Führer bei harten Landungen zu schützen, sind federnde Führersitze empfohlen und auch ausgeführt, ebenso federnde Haltebänder. Auf die möglichen Gefahren einer stark federnden Anordnung des Führersitzes ist an anderer Stelle schon hingewiesen. Auch stark federnde wie übrigens auch starre Haltebänder können Gefahren in sich schliessen. Der Führer sollte bei allen Schutzmassregeln und -Vorrichtungen in seiner freien Beweglichkeit nicht beeinträchtigt sein.

Es scheint sicher zu sein, dass mancher Unglücksfall bei richtiger Ausbildung und Anordnung des Führersitzes hätte vermieden werden können, wenn es auch nachträglich meist sehr schwer ist, alle Umstände, die zu dem unglücklichen Ende führten, richtig einzuschätzen.

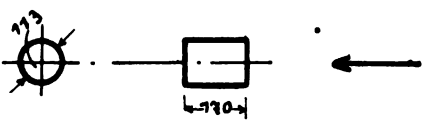
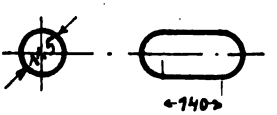
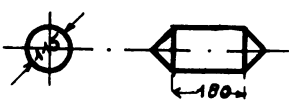
Tafel I.

Zusammenstellung von Luftwiderstands-Koeffizienten nach Versuchen von Frank, Eiffel und Föppl.

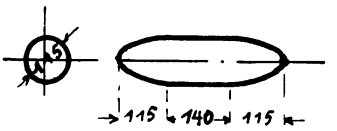
Körper mit Rechtecksquerschnitt.

Körperform:	K
 Stirnfläche mit Rand	0.69 (Frank).
	0.58 (Frank).
	0.43 (Frank).
	0.38 (Frank).
	0.31 (Frank).
	0.46 bis 0.37 (Frank).

Körper mit Kreisquerschnitt.

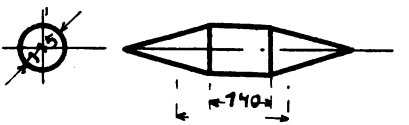
	0.55 (Frank).
	0.3 bis 0.26 (Frank).
	0.37 (Frank).

Körperform: K



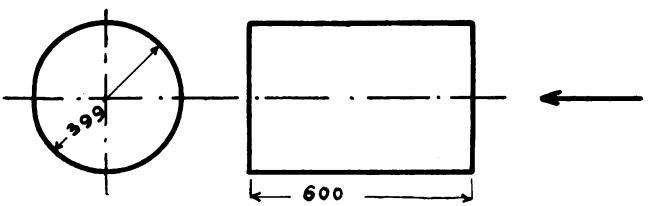
0.24 (Frank.)

0.35 (Frank).

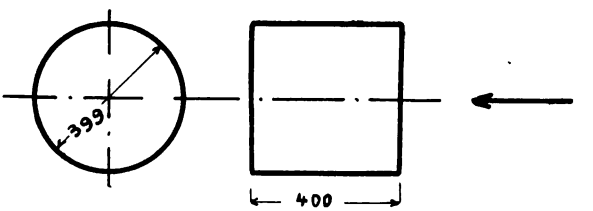


0.20 (Frank).

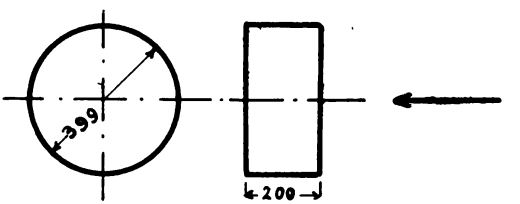
Zylindrische Körper verschiedener Länge.



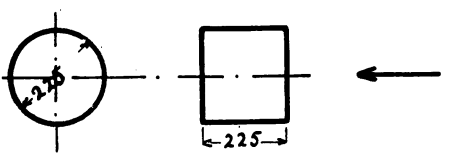
0.48 (Eiffel).



0.55 (Eiffel).



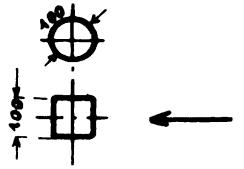
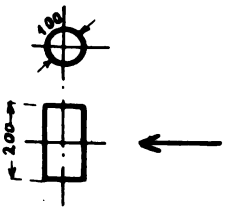
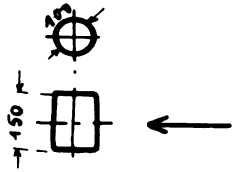
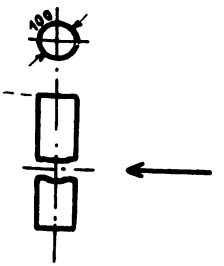
0.51 (Eiffel).



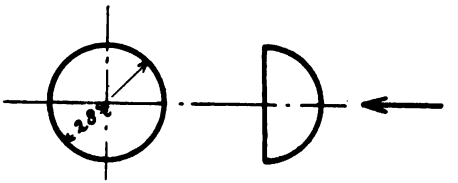
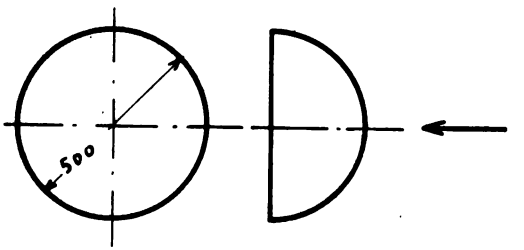
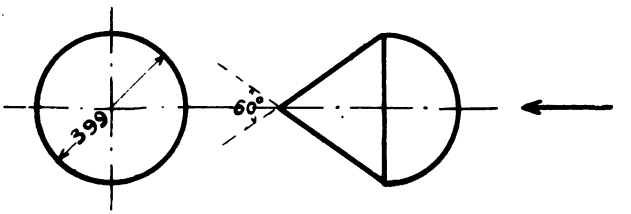
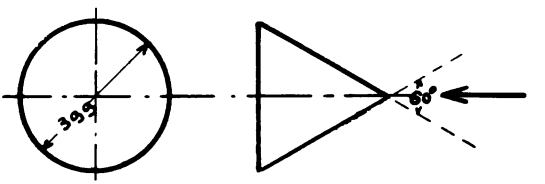
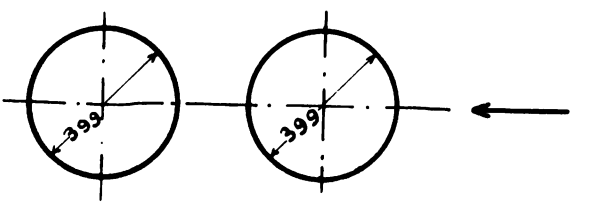
0.55 (Frank).

Tafel III.

Zylindrische Körper. Achse senkrecht zur Bewegungsrichtung.

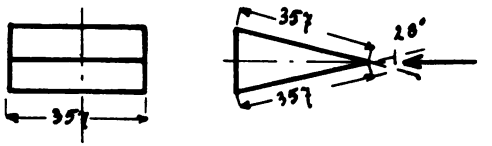
Körperform:	K
	0.53 (Frank).
	0.45 (Frank).
	0.47 (Frank).
	0.45 bis 0.50 (Föppl).
Dünne Drähte	0.60 (Föppl).
Seile	0.50 bis 0.60 (Föppl).

Verschiedene Körper mit Kreisquerschnitt.

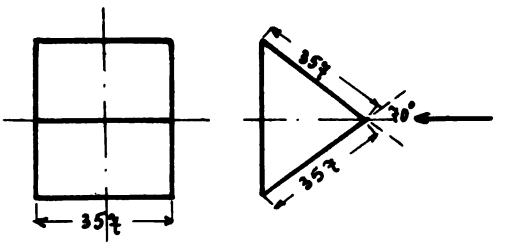
Körperform:	K
	0.67 (Eiffel).
	0.58 (Eiffel).
	0.20 (Eiffel).
	0.12 (Eiffel).
	0.22 (Eiffel).

Spitzen mit rechteckiger Grundfläche.

Form: K

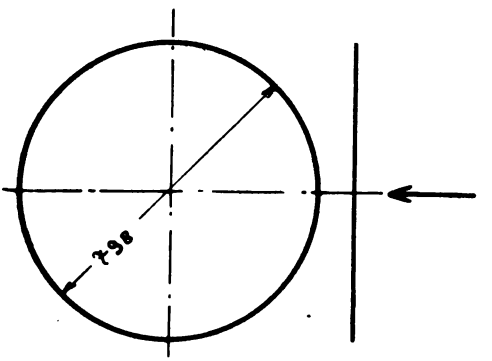


0.32 (Eiffel).

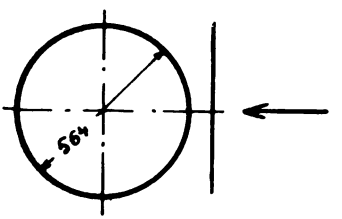


0.54 (Eiffel).

Kreisflächen verschiedener Grösse.

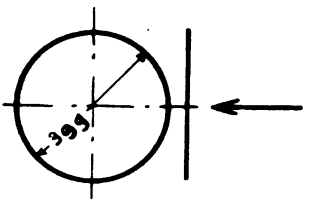


0.62 (Eiffel).

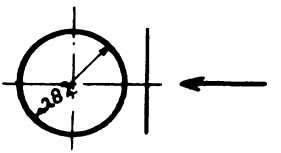


0.59 (Eiffel).

Form: K

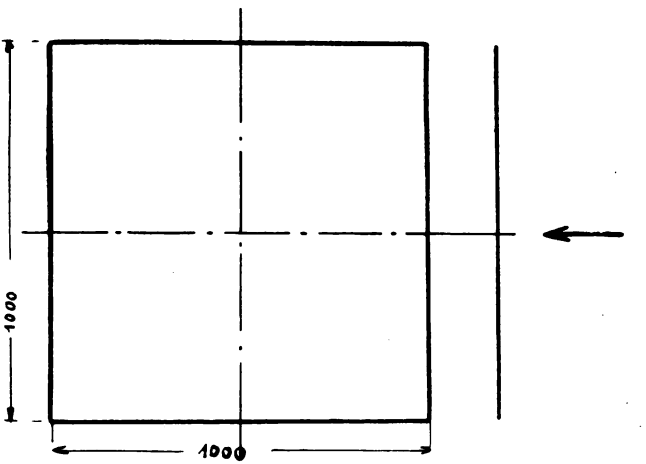


0.57 (Eiffel).

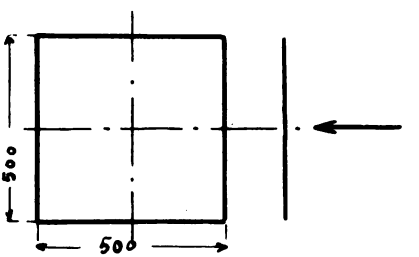


0.54 (Eiffel).

Quadratische Flächen verschiedener Grösse.

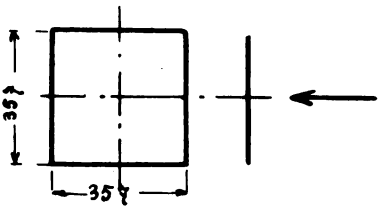


0.63 (Eiffel).

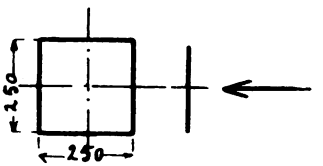


0.60 (Eiffel).

Form: K

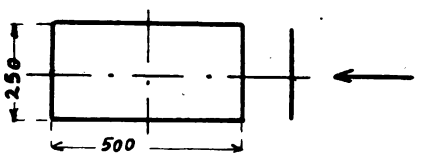


0.57 (Eiffel).

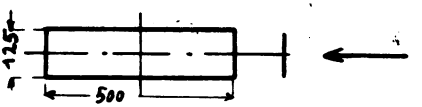


0.56 (Eiffel).

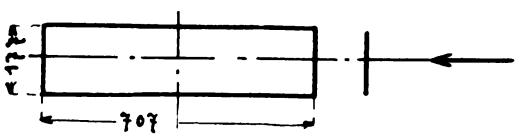
Rechtecksflächen.



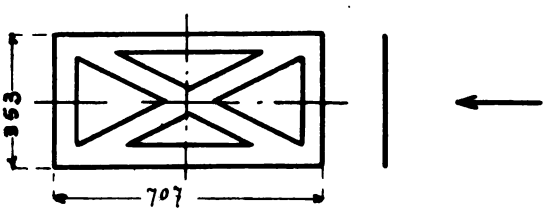
0.57 (Eiffel).



0.57 (Eiffel).



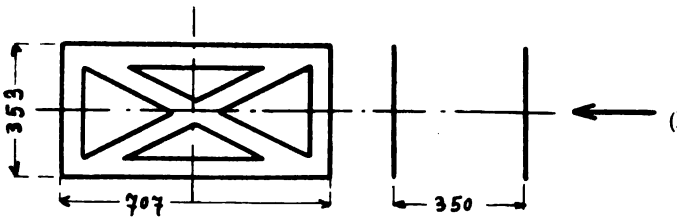
0.58 (Eiffel).



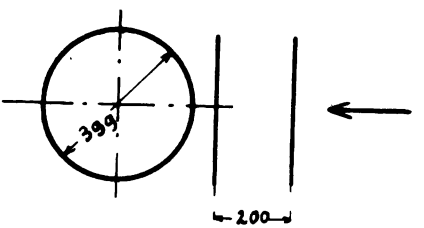
0.71 (Eiffel).

Doppelflächen.

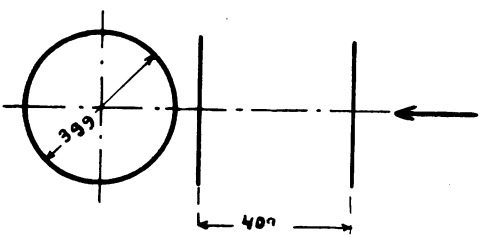
Form: K



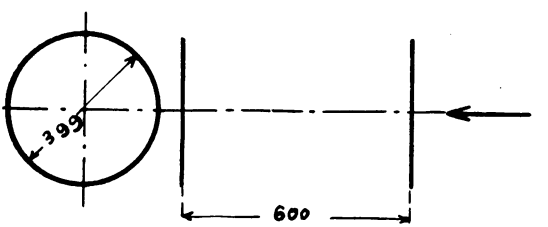
0.78
(Eiffel).



0.54 (Eiffel).

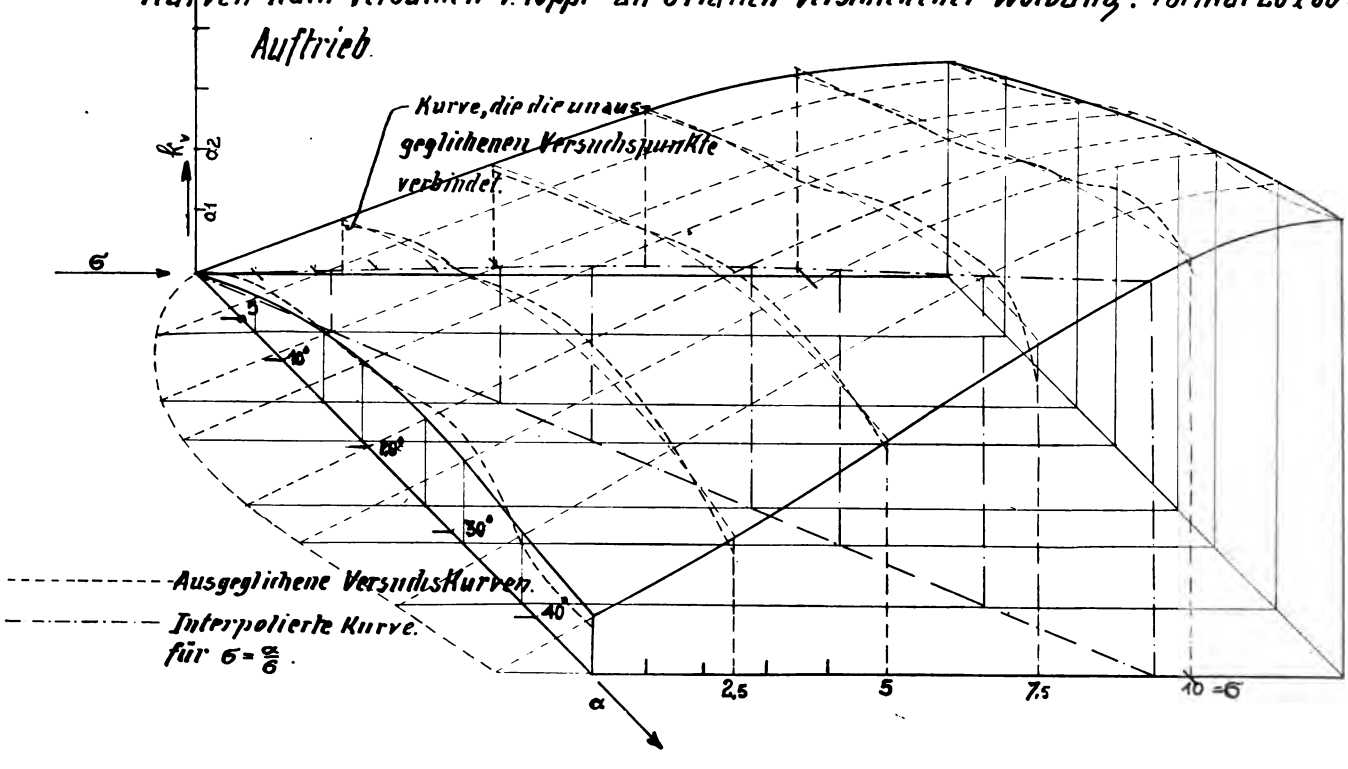


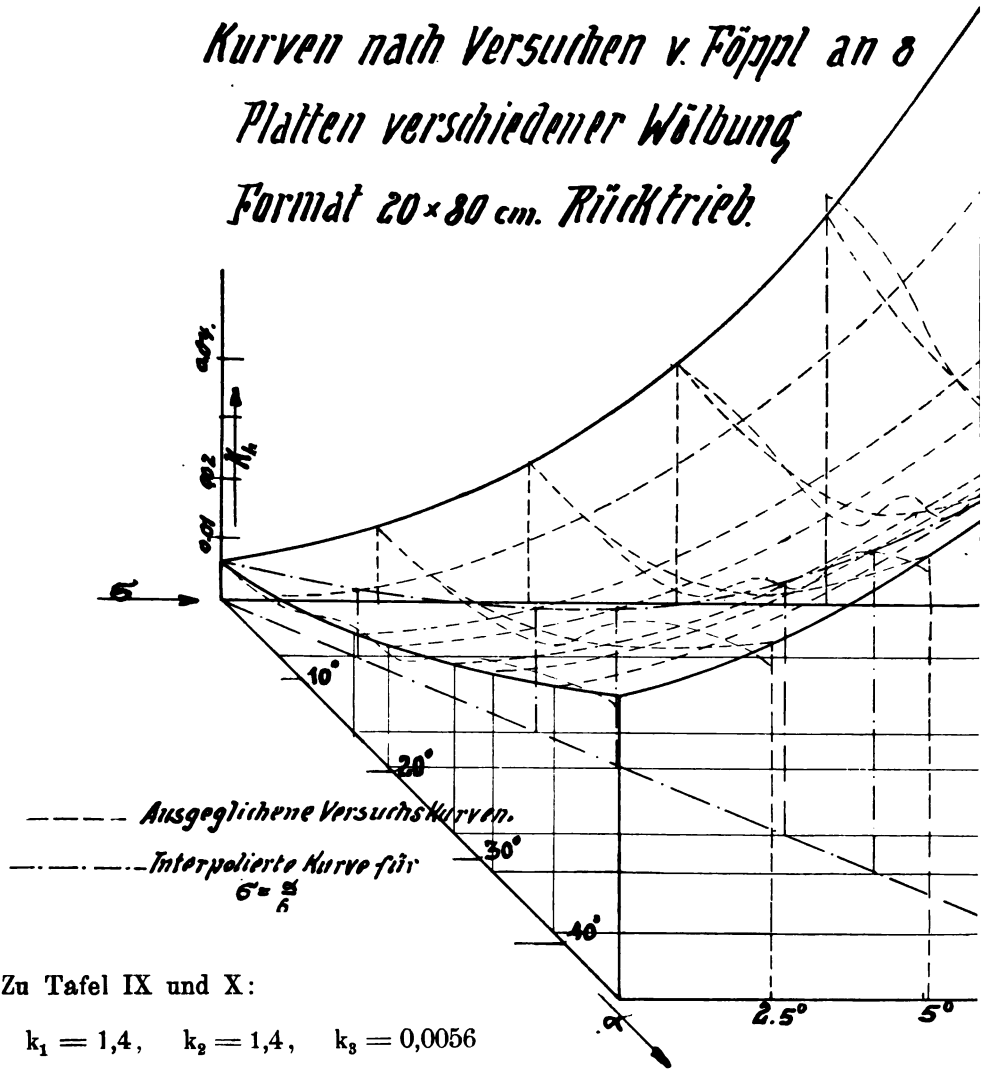
0.47 (Eiffel).



0.42 (Eiffel).

Kurven nach Versuchen v. Töppl an 8 Platten verschiedener Wölbung. Format 20 x 80 cm.





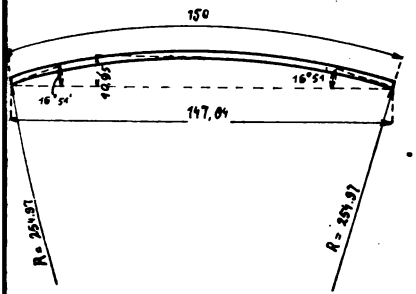
Zu Tafel IX und X:

$k_1 = 1{,}4, \quad k_2 = 1{,}4, \quad k_3 = 0{,}0056$

$k_4 = \frac{1{,}05}{10000}, \delta = \frac{175\,\sigma_0}{175 + \sigma_0^{\,8}}.$

Bei verschiedenem Verhältnis λ von Flächentiefe zu Breite und $\alpha = 8^0$

Rechtecksfläche 90 × 15 cm mit Kreisbogenwölbung nach Versuchen von Eiffel.

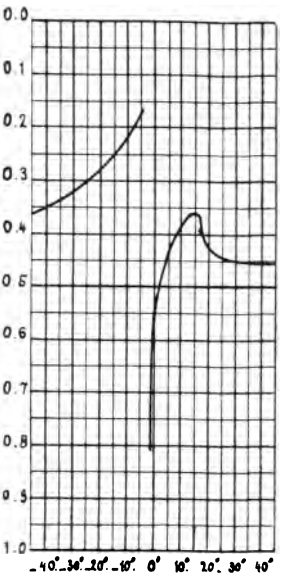


Flächenquerschnitt, Plattendicke 3 mm

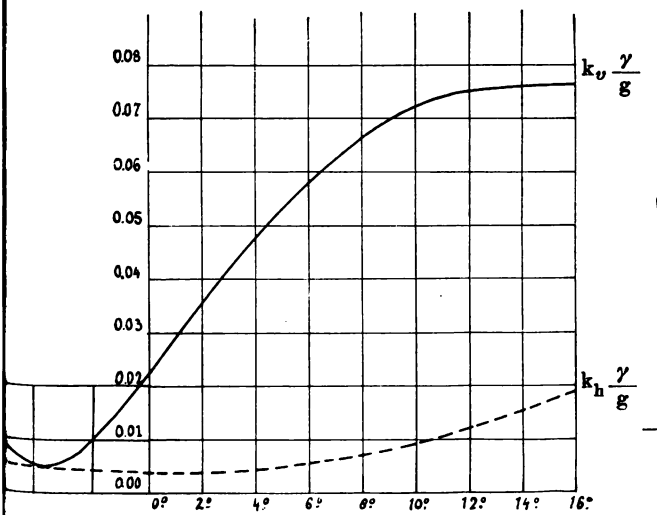
$k_1 = 1{,}5$, $k_2 = 1{,}4$, $k_3 = 0{,}0056$

$k_4 = \frac{1{,}05}{10000}$, $\alpha = 34^0$, $\delta = 4^0$.

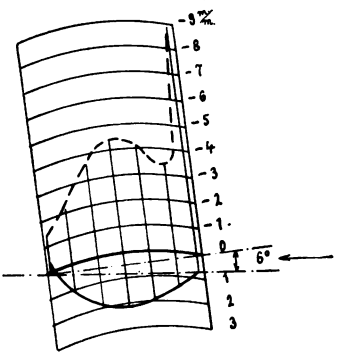
Stirnkante.



Wanderung des Druckmittelpunkts.

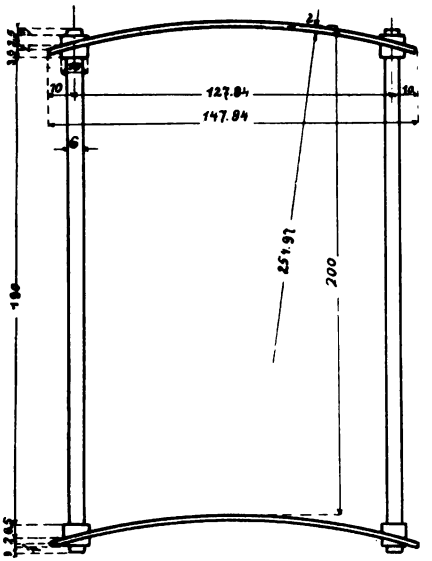


Auftrieb und Rücktrieb in Abhängigkeit vom Sehnenanstellwinkel.

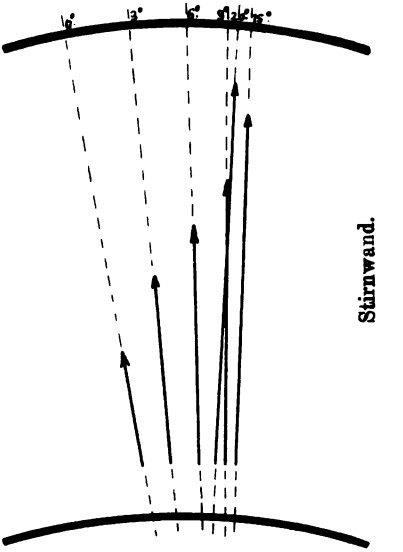


Druckverteilung über einen Schnitt in Flächenmitte.

Rechtecksdoppelfläche 90 × 15 cm mit Kreisbogenwölbung und Flächenabstand von $^4/_8$ der Flächentiefe nach Versuchen von Eiffel.



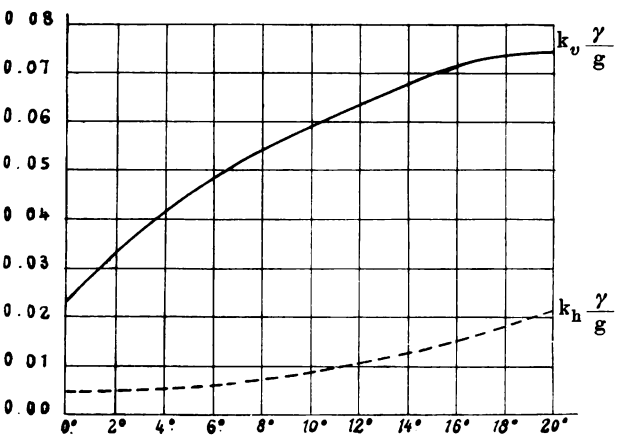
Flächenquerschnitt.



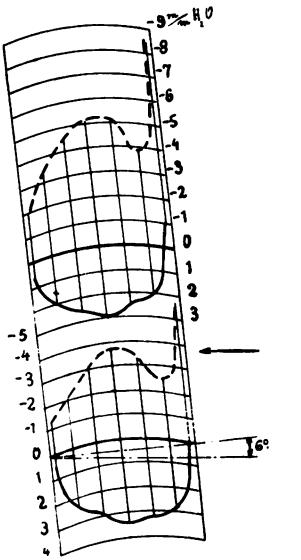
Wanderung des Druckmittelpunkts.

$k_1 = 1{,}27$, $k_2 = 1{,}27$, $k_3 = 0{,}009$.

$k_4 = \frac{0{,}56}{10\,000}$, $\alpha = 34^0$, $\delta = 3^0$.

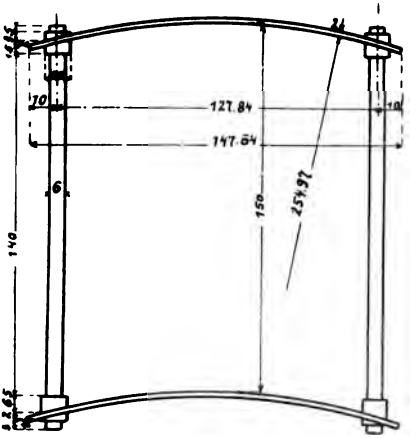


Auftrieb und Rücktrieb in Abhängigkeit vom Sehnenanstellwinkel.

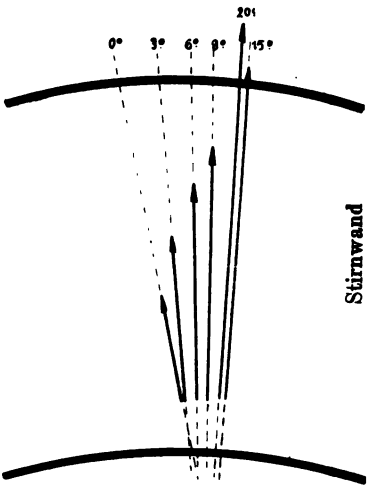


Druckverteilung über einen Schnitt in Flächenmitte.

Rechtecksdoppelfläche 90 × 15 cm mit Kreisbogenwölbung und Flächenabstand von $^1/_1$ der Flächentiefe nach Versuchen von Eiffel.

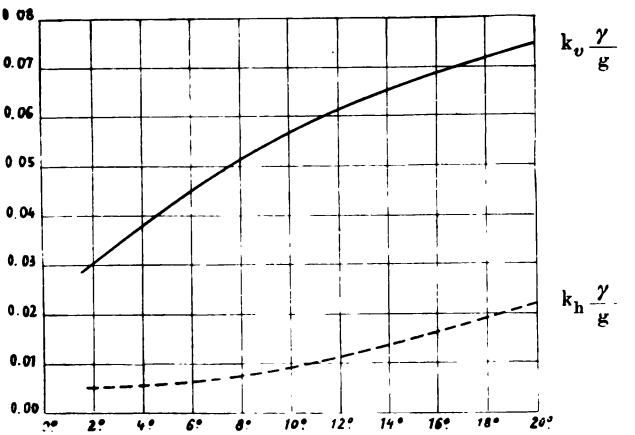


Flächenquerschnitt.

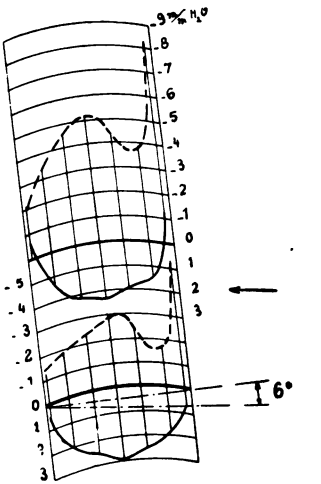


Wanderung des Druckmittelpunkts.

$k_1 = 1{,}21$, $k_2 = 1{,}21$, $k_3 = 0{,}0096$,
$k_4 = \frac{0{,}42}{10000}$, $\alpha = 34^0$, $\delta = 3{,}5^0$

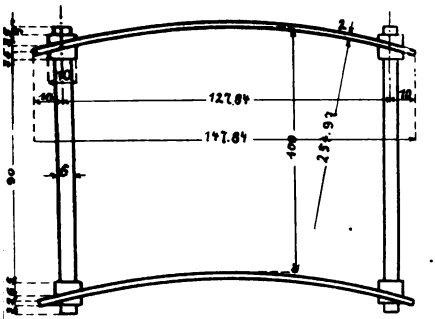


Auftrieb und Rücktrieb in Abhängigkeit von Sehnenanstellwinkel.

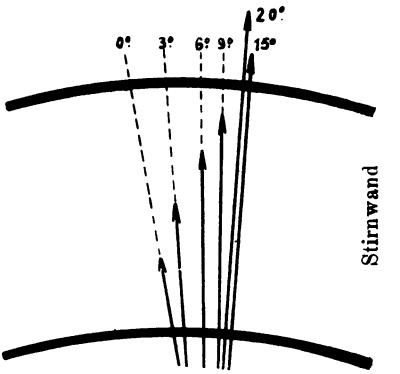


Druckverteilung über einen Schnitt in Flächenmitte.

Rechtecksdoppelfläche 90 × 15 cm mit Kreisbogenwölbung und Flächenabstand von $^2/_3$ der Flächentiefe nach Versuchen von Eiffel.

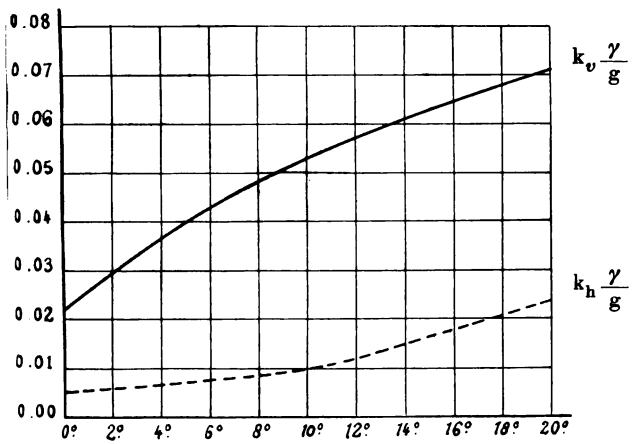


Flächenquerschnitt.

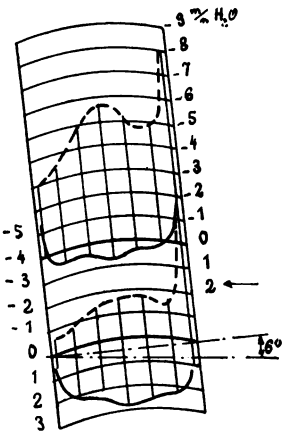


Wanderung des Druckmittelpunkts.

$k_1 = 1{,}14$, $k_2 = 1{,}14$, $k_3 = 0{,}008$,
$k_4 = \frac{0{,}6}{10000}$, $\alpha = 34^0$, $\delta = 3{,}5^0$.



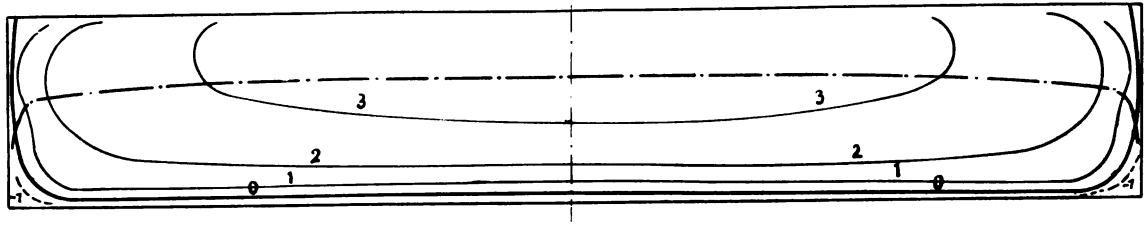
Auftrieb und Rücktrieb in Abhängigkeit vom Sehnenanstellwinkel.



Druckverteilung über einen Schnitt in Flächenmitte.

Druckverteilung über eine Fläche von 90 × 15 cm, 10° und 15° Anstellwinkel bei $\alpha = \sim 34^0$ nach Versuchen von Eiffel. Lage der Druckmittelpunkte in den einzelnen Querschnitten.

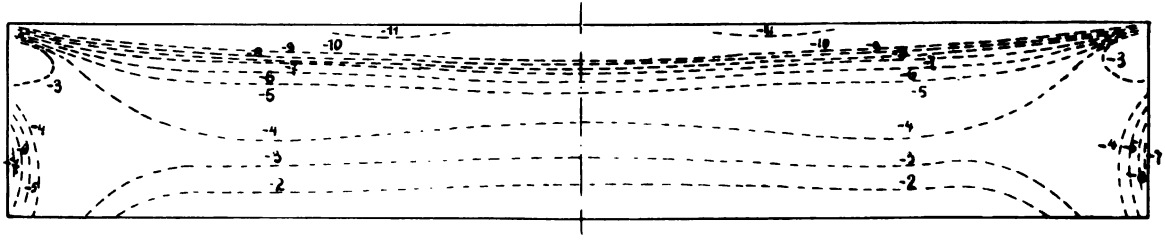
10°



Stirnkante.

Unterseite.

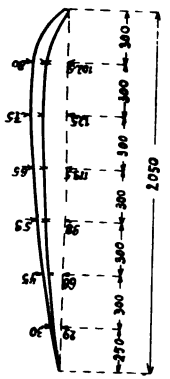
10°



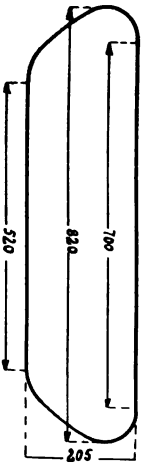
Stirnkante.

Oberseite.

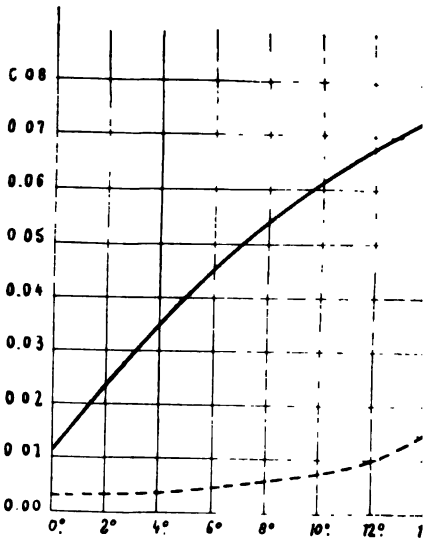
Tragfläche von Bleriot nach Versuchen von Eiffel.



Querschnitt.

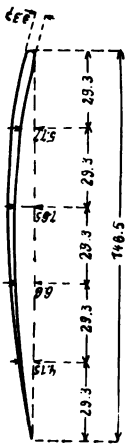


Draufsicht.

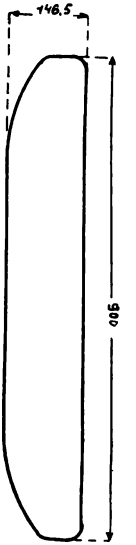


Auftrieb und Rücktrieb in Abhängigke
Sehnenanstellwinkel.

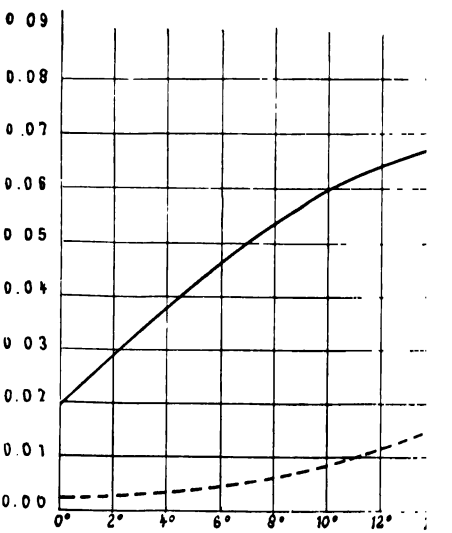
Tragfläche von Wright nach Versuchen von Eiffel.



Querschnitt.



Draufsicht.



Auftrieb und Rücktrieb in Abhängigkeit
Sehnenanstellwinkel.

R. Oldenbourg, Verlag, München NW. 2 u. Berlin W. 10

Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt

Offizielles Organ der wissenschaftlichen Gesellschaft für Flugtechnik

Herausgeber und Schriftleiter: Ingenieur **Ansbert Vorreiter.** **Leiter** des wissenschaftlichen Teils: Dr. **L. Prandtl,** Professor a. d. Universität Göttingen, Dr.-Ing. **F. Bendemann,** Direktor der deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, Berlin-Adlershof. Unter Mitwirkung von: Ing. **Paul Béjeuhr,** Berlin; Dipl.-Ing. **A. Betz,** Göttingen; **H. Boykow,** Fregatten-Leutnant a. D., Kiel; Dr. **R. Emden,** Professor an der Kgl. Universität München; Dr. **S. Finsterwalder,** Geh. Hofrat, Professor an der Kgl. Techn. Hochschule München; Dr.-Ing. **Föttinger,** Prof. an der Kgl. Techn. Hochschule Danzig; Geh. Reg.-Rat Dr. **H. Hergesell,** Prof. an der Universität Straßburg; **E. Josse,** Geh. Reg.-Rat, Professor an der Kgl. Techn. Hochschule Charlottenburg; Dr. **N. Joukowsky,** Professor an der Universität u. Techn. Hochschule Moskau; **R. Knoller,** Professor a. d. K. K. Techn. Hochschule Wien; Dr.-Ing. **A. von Parseval,** Professor a. d. Kgl. Techn. Hochschule Charlottenburg; Dipl.-Ing. Dr. **V. Quittner,** Berlin; Dr.-Ing. **H Reißner,** Professor an der Kgl. Techn. Hochschule Aachen; **F. Romberg,** Professor a. d. Kgl. Techn. Hochschule Charlottenburg; Geh. Reg.-Rat Dr. **C. Runge,** Professor an der Universität Göttingen; **A. Wagener,** Prof. a. d. Techn. Hochschule Danzig.

Jährlich 24 Hefte mit zahlreichen Abbildungen und Tafeln.

Preis pro Jahrgang M. 12.—, pro Halbjahr M. 6.—.

Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst. Ein Beitrag zur Systematik der Flugtechnik. Auf Grund zahlreicher von **O.** und **G. Lilienthal** ausgeführter Versuche bearbeitet von **Otto Lilienthal,** Ingenieur u. Maschinenfabrikant in Berlin. Zweite vermehrte Auflage. Mit einer biographischen Einleitung und einem Nachtrag von **Gustav Lilienthal,** Baumeister und Dozent an der Humboldt-Akademie. 218 Seiten 8°. Mit 93 Textfiguren, 8 lithogr. Taf. u. 1 Porträt. In Leinw. geb. Preis M. 9.—.

.... Noch heute stehen die von den Gebrüdern Lilienthal in den neunziger Jahren aufgestellten Grundsätze als Pfeiler da für den weiteren Auf- und Ausbau der Flugtechnik. Das deutsche Werk der Lilienthals ist auch für das Ausland von grundlegendem Wert geworden. Es bietet in einer Reihe von vierzig interessanten Kapiteln in allgemeinverständlicher Sprache die systematische Erforschung des Vogelfluges als Vorbild für den Menschenflug. Gustav Lilienthal hat das Werk seines als Märtyrer des Flugproblems verunglückten Bruders Otto für die neue Auflage mit einer biographischen Einleitung und einem Nachtrag versehen. Für jeden, der sich ernstlich mit der Flugtechnik beschäftigt, dürfte das vorliegende Werk unentbehrlich sein wegen seines grundlegenden Inhalts, auf dem die Erfolge der heutigen Flugmaschinen-Konstrukteure beruhen. Es ist ein Werk, auf das wir Deutsche stolz sein können! (*Der Automobil-Betrieb.*)

Die Luftschiffahrt nach ihrer geschichtlichen und gegenwärtigen Entwicklung. Von **A. Hildebrandt,** Hauptmann a. D., vorm. Lehrer im Luftschifferbataillon. Zweite vermehrte und verbesserte Auflage. Mit einem Titelbild. 464 Seiten gr. 8°. 292 Textabbildungen und 1 Tafel. Elegant ausgestattet; in Leinwand geb. Preis M. 12.—

Das Buch ist von der gesamten Presse glänzend besprochen.

So sagt z. B. die „Wiener Luftschifferzeitung":

„Die Luftschiffahrt" von A. Hildebrandt ist das derzeit **weitaus beste, sachlich richtigste und vollständigste Werk.**"

Der „Tag": **„Fraglos das bedeutendste Buch."**

Die „Leipziger Illustrierte Zeitung": **„Kabinettstücke, wie sie bisher in der Literatur über Luftschiffahrt nirgends zu finden waren."**

Bestellungen nimmt jede Buchhandlung entgegen.

Flugmaschinen

und deren

Konstruktions-Einzelteile

in grösster Auswahl und zu billigsten Preisen. :: Viele Neuheiten in- u. ausländischer Modelle. :: Konstruktionspläne. :: Sämtliche Holz-Bestandteile für den Modellbau.

Luftschrauben handgefertigt in sauberster Ausarbeitung von geschulten Arbeitern hergestellt. :: ::

Klein-Motore für den Modellbau, 3 und 8 Zyl.

Deckstoffe. Aluminiumrohre. Räder etc.

Sonderanfertigungen für Modelle eigener Konstruktion. Tragflächen, Stabilisierungs- und Steuerflächen etc. schnell, gut und billig.

R. Behle, Frankfurt a. M. Postfach 192.

Katalog gratis und franko.

Propeller aus Holz

auf Grund der neuesten wissenschaftlichen Untersuchungen und praktischen Erfahrungen konstruiert, daher von **vollkommenster Wirkung** und **höchstem Nutzeffekte,** liefert zu kulanten Bedingungen

E. Bienek, Ingenieur, Metz-Sablon

Bürgermeistereistrasse 30.

B89090516048
B89090516048A